

**UNIVERSITÉ KASDI MERBAH-OUARGLA**  
**Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie**  
**Département des Sciences Agronomiques**



**Mémoire**

**MASTER ACADEMIQUE**

**Domaine : Sciences de la Nature et de la Vie**

**Filière : Sciences Agronomiques**

**Spécialité : Gestion des agrosystèmes**

**Thème :**

**Effet des biostimulants sur le comportement d'une culture  
de blé dur (*Triticum durum* Desf. var. Vitron), irrigué en  
conditions sahariennes (région de Hassi Ben Abdallah)**

**Présenté par :**

**Bouali Djaafar**

**Belkou Imad Eddine**

**Soutenu publiquement le :18/06/2025**

**Devant le jur**

|                     |                                   |              |                    |
|---------------------|-----------------------------------|--------------|--------------------|
| <b>Président</b>    | <b>M. DADDA MOUSSA M. Lakhdar</b> | <b>M.C.A</b> | <b>UKM Ouargla</b> |
| <b>Encadrant</b>    | <b>Mme DERAOUI Naima</b>          | <b>M.C.A</b> | <b>UKM Ouargla</b> |
| <b>Co-encadrant</b> | <b>M. BELAROUCI M. El Hafed</b>   | <b>M.C.A</b> | <b>UKM Ouargla</b> |
| <b>Examineur</b>    | <b>Mme BENBRAHM Keltoum</b>       | <b>M.C.A</b> | <b>UKM Ouargla</b> |

**Année universitaire 2024/2025**

# **Effet des biostimulants sur le comportement d'une culture de blé dur (*Triticum durum* Desf. var. Vitron), irrigué en conditions sahariennes (région de Hassi Ben Abdallah)**

## **Résumé**

Cette étude a pour objectif d'évaluer l'effet de certains types de biostimulants de nouvelle génération composé de trois formulations, le composé minéral organique (A), le composé organique liquide (B) et le stimulant immunitaire renforcé (B1+), sur les performances agronomiques du blé dur (*Triticum durum* Desf.) cultivé sous système d'irrigation par pivot dans la région de Hassi Ben Abdallah, wilaya de Ouargla, durant la campagne agricole 2024–2025. Trois types de biostimulants ont été appliqués selon deux formulations distinctes, en plus d'un témoin non traité, répartis sur différentes phases de croissance de la plante conformément aux recommandations techniques.

L'étude a porté sur l'évaluation de plusieurs indicateurs phénologiques, morphologiques et de croissance, ainsi que des analyses chimiques telles que la teneur en azote des grains. Les résultats ont révélé des effets positifs variables des biostimulants sur certains paramètres tels que le nombre d'épis, le nombre d'épillets par épi et le poids de mille grains. En revanche, aucune différence significative n'a été observée au niveau du rendement final en grains.

L'étude recommande la poursuite des essais afin de déterminer les formulations et les doses optimales permettant de tirer pleinement parti des biostimulants, notamment dans les environnements sahariens contraignants.

**Mots-clés:** *Triticum durum*, biostimulants, zones arides, irrigation par pivot, Hassi Ben Abdallah

**Effect of biostimulants on the performance of a durum wheat crop (*Triticum durum* Desf. var. Vitron) irrigated under Saharan conditions (Hassi Ben Abdallah region)**

**Abstract**

This study aims to evaluate the effect of certain types of next-generation biostimulants, which consist of three formulations: the mineral-organic compound (A), the liquid organic compound (B), and the enhanced immune stimulant (B1+), on the agronomic performance of durum wheat (*Triticum durum* Desf.) grown under center pivot irrigation in the Hassi Ben Abdallah region, located in the Wilaya of Ouargla, during the 2024–2025 agricultural season. Three types of biostimulants were applied in two different formulations, in addition to an untreated control, and distributed across different growth stages of the crop according to technical recommendations.

The study focused on evaluating various phenological, morphological, and growth parameters, as well as chemical analyses such as the nitrogen content of the grains. The results revealed variable positive effects of the biostimulants on certain parameters, such as the number of spikes, number of spikelets per spike, and the thousand-kernel weight. However, no statistically significant differences were observed in the final grain yield.

The study recommends continuing experimental trials to determine the optimal formulations and doses that would maximize the benefits of biostimulants, particularly in challenging arid environments.

**Keyword:** *Triticum durum*, biostimulants, arid zones, center pivot irrigation, Hassi Ben Abdallah

## تأثير المنشطات الحيوية على أداء محصول القمح الصلب (*Triticum durum* Desf.) صنف (Vitron) ، المروي في ظروف صحراوية (منطقة حاسي بن عبد الله)

### الملخص:

تهدف هذه الدراسة إلى تقييم تأثير بعض أنواع المحفزات الحيوية من الجيل الجديد، والتي تتكوّن من ثلاث تركيبات تشمل المركب المعدني العضوي (A) ، والمركب العضوي السائل (B) ، والمحفز المناعي المعزز (B1+) على الأداء الزراعي لمحصول القمح الصلب (*Triticum durum* Desf.) المزروع بنظام الري المحوري في منطقة حاسي بن عبد الله التابعة لولاية ورقلة، وذلك خلال الموسم الزراعي 2024-2025. تم اعتماد ثلاث صيغ مختلفة من المحفزات الحيوية، طُبِّقَت كل منها بجرعتين مختلفتين، بالإضافة إلى معاملة شاهدة غير معالجة، حيث وُزِّعت التطبيقات على مراحل نمو محددة للنبات وفقًا للتوصيات التقنية.

ارتكزت الدراسة على قياس مجموعة من المؤشرات الفنولوجية والمورفولوجية والنمائية، إلى جانب التحاليل الكيميائية التي شملت محتوى الحبوب من عنصر الأزوت. وقد أظهرت النتائج وجود تأثيرات إيجابية متباينة للمحفزات الحيوية على بعض المؤشرات، مثل عدد السنابل، وعدد السنيبلات في السنبلة، ووزن ألف حبة. ومع ذلك، لم تُسجَل فروقات ذات كبيرة في المردود النهائي للحبوب.

تخلص الدراسة إلى ضرورة مواصلة التجارب البحثية بهدف تحديد التركيبات والجرعات المثلى التي تمكّن من تحقيق أقصى استفادة ممكنة من هذه المحفزات، لا سيما في البيئات الصحراوية التي تتسم بالظروف المناخية الصعبة.

**الكلمات المفتاحية:** القمح الصلب، المحفزات الحيوية، المناطق الجافة، الري المحوري، حاسي بن عبد الله

# *Remerciements*

Louange à "Allah" par la grâce duquel les bonnes œuvres s'accomplissent. C'est par Sa faveur et Son aide que nous avons pu mener à bien ce travail, en espérant qu'Il l'accepte et qu'Il le rende sincèrement voué à Sa noble Face.

À ce stade, nous ne pouvons que témoigner notre profonde gratitude et nos sincères remerciements à **Madame BOUKHALFA-DERAOUI N.**, Maître de conférences au département des sciences agronomiques de l'Université Kasdi Merbah – Ouargla, pour la confiance qu'elle nous a accordée, ainsi que pour son encadrement et son accompagnement scientifique tout au long de la réalisation de ce travail. Qu'Allah la récompense généreusement pour tous ses efforts.

Nous exprimons également notre reconnaissance à **Monsieur BELAROUSSI M.E.H.**, Maître de conférences à l'Université de Ouargla, pour son soutien constant, ses conseils précieux et son engagement dans l'accompagnement, qui ont grandement contribué à la réussite de ce projet.

Nous tenons aussi à exprimer notre plus haute considération et notre respect à **Monsieur DADDA MOUSSA M.**, Chef du département des sciences agronomiques à l'Université de Ouargla, pour avoir accepté avec bienveillance de présider le jury de soutenance. C'est un honneur pour nous.

Nos remerciements vont également à **Madame BENBRAHIM Keltoum**, Maître de conférences à l'Université Kasdi Merbah – Ouargla, pour avoir accepté d'évaluer ce travail. Nous la remercions sincèrement pour l'intérêt qu'elle lui a accordé et pour sa bienveillance.

Toute notre gratitude va aussi à l'ensemble des enseignants du département des sciences agronomiques, qui ont contribué à notre formation et à notre orientation tout au long de notre parcours universitaire.

Nous remercions sincèrement Monsieur Ben El-Saih Mohamed pour son accueil et les moyens mis à notre disposition durant la phase pratique. Notre gratitude va également à l'intendant Sulaiman, au personnel de la ferme, ainsi qu'à nos amis et collègues pour leur soutien moral. Qu'Allah récompense chacun généreusement.

# الإهداء

إلى والداي العزيزين

**أبي**

رمز القوة والقدوة... علّمتني أن لا طريق للنجاح دون تعب،  
فكنت لي سندًا لا يميل، ودعامة لا تهتز.

**أمي**

يا من كان رضاك لي بوابة الفرج، ودعاؤك طريقي إلى التوفيق،  
لك مني كل الحب والتقدير ما حييت.

**إلى إخوتي وأخواتي،**

أنتم الدفء في أيامي، والنبض الذي يحيطني كلما تعبت،  
شكرًا لوجودكم الثابت في كل مراحل.

**إلى أصدقائي ورفاق دربي،**

من شاركوني الحلم والدرب، ووقفوا بجانبني في لحظات التعب والفرح،  
لكم كل الامتنان، فلکم في هذا الإنجاز نصيب.

إلى كل من شجعني بكلمة، ودعمني بدعاء،

من الأهل والأقارب، من عمات وأعمام، وخال

**وإلى عماد الدين رفيق دربي في إنجاز هذه المذكرة،**

شكرًا لك على ما أبديته من التزام، وعلى روح التعاون والإصرار التي جمعتنا.  
لقد تقاسمنا الجهد والسعي، فصار للنجاح طعم أجمل، وللإنجاز معنى أعمق.  
كان لهذا العمل أن يكتمل بفضل الله ثم بتأزرنا وثقتنا المتبادلة.

# الإله

إلى والدي العزيز

قدوتي ومصدر عزيمتي.

منك تعلّمت أنّ العمل شرف، وأن الطريق إلى النجاح يبدأ بخطوة صادقة.

شكرًا لك على دعمك الذي لا يعرف فتورًا.

إلى والدتي الحنون

نبض قلبي، وملجئي في الشدائد،

دعاؤك كان سر التوفيق، وصبرك كان وقودي في لحظات التعب.

جزاك الله عني كل خير.

إلى إخوتي وأخواتي

أنتم الأمان الذي احتضنني، والسند الذي أعانني.

لكم في القلب مكان لا يزول.

إلى كل أفراد عائلتي الكريمة كل باسمه

لكم مني كل الشكر على حبّكم ودعواتكم التي كانت لي عونًا طوال الطريق.

وإلى رفاقي وزملائي وأصدقائي، كل باسمه

كل من ساندني بكلمة طيبة، أو دعاء صادق،

أهديكم ثمرة هذا الجهد، مع أصدق مشاعر التقدير والعرفان.

وإلى جعفر رفيقي وأخي في هذا الإنجاز،

يا من كنت في مسيرة العلم عضوًا، وفي درب التعب رفيقًا لا يمل،

تقاسمنا الفكرة والجهد، وتشاركنا الطموح والأمل،

# TABLE DES MATIÈRES

## *Remerciements*

ع/د ..... الأه

ع/د ..... الأه

## *Liste des Tableaux11*

## *Liste des photos*

## *Liste des figures*

|                   |   |
|-------------------|---|
| INTRODUCTION..... | 1 |
|-------------------|---|

## *Partie I : Synthèse Bibliographique*

### **CHAPITRE I : GENERALITES SUR LE BLE DUR (*TRITICUM DURUM*)**

|                                                                                               |   |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------|---|
| I.1 Origine et historique : .....                                                             | 6 |
| I.2 Importance du blé dur ( <i>Triticum durum</i> ).....                                      | 6 |
| I.2.1. Importance économique .....                                                            | 6 |
| I.2.2 Importance alimentaire .....                                                            | 7 |
| I.3 Aperçu sur la filière du blé aux échelles mondiale, africaine et nationale (Algérie)..... | 8 |



|                                                                              |    |
|------------------------------------------------------------------------------|----|
| I.4 Classification botanique du blé et ses caractéristiques génétiques ..... | 9  |
| I.5 Les stades phénologiques de blé.....                                     | 10 |
| I.6 Exigences pédoclimatiques du blé dur .....                               | 14 |

## **CHAPITRE II : GENERALITES SUR LA FERTILISATION FOLIAIRE ET LES BIOSTIMULANTS**

|                                                     |    |
|-----------------------------------------------------|----|
| .II.1 La fertilisation foliaire.....                | 20 |
| II.2. Les effets de la fertilisation foliaire ..... | 20 |
| II.3. Les biostimulants en agriculture .....        | 21 |
| II.4. Classification des biostimulants.....         | 21 |

## **PARTIE II : ETUDE EXPERIMENTALE**

### **CHAPITRE I : MATERIEL ET METHODES**

|                                                                                              |    |
|----------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| I.1. Présentation de la région d'étude .....                                                 | 25 |
| .I.1.1 Situation géographique .....                                                          | 25 |
| .I.1.2 Conditions climatiques .....                                                          | 26 |
| I.1.3. Données climatiques.....                                                              | 26 |
| I.1.4. Ressources naturelles.....                                                            | 28 |
| I.2. Protocol expérimental.....                                                              | 30 |
| I.2.1. Choix du site expérimental .....                                                      | 30 |
| I.2.2. Caractéristiques physico-chimiques du sol.....                                        | 30 |
| .I.2.3 Système d'irrigation et caractéristiques physico-chimiques de l'eau d'irrigation..... | 31 |
| I.2.4. Matériel végétal .....                                                                | 31 |
| .I.2.5 Dispositif expérimental.....                                                          | 31 |
| I.2.6. Itinéraire technique et conditions de déroulement de l'essai .....                    | 35 |
| 1.2.5.1. Précédent cultural .....                                                            | 35 |
| 1.2.5.2. Tests de germination.....                                                           | 35 |
| 1.2.5.3. Pré-irrigation .....                                                                | 35 |

|          |                                                    |    |
|----------|----------------------------------------------------|----|
| 1.2.5.4. | Travail du sol.....                                | 36 |
| 1.2.5.5. | Semis .....                                        | 36 |
| 1.2.5.6. | Suivi de la fertilisation et de l'irrigation ..... | 37 |
| 1.2.5.7. | Traitements phytosanitaires.....                   | 38 |
| 1.2.5.8. | Récolte.....                                       | 39 |
| .I.2.7   | Paramètres étudiés .....                           | 39 |

## **CHAPITRE II : RESULTATS ET DISCUSSION**

|                                         |                                                                              |           |
|-----------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| II.1.                                   | Caractéristiques physico-chimiques du sol.....                               | 46        |
| II.2.                                   | Caractéristiques physico-chimiques de l'eau d'irrigation.....                | 49        |
| II.3.                                   | Résultats obtenus pour les différents paramètres étudiés.....                | 50        |
| II.3.1.                                 | Résultats du test de germination des graines de blé dur variété Vitron ..... | 50        |
| II.3.2.                                 | Suivi des stades phénologiques du blé durant la campagne .....               | 51        |
| .II.3.3                                 | Effet des biostimulants sur les composantes du rendement.....                | 52        |
| .II.3.4                                 | Effet des biostimulants sur les paramètres de croissance .....               | 60        |
| II.3.5.                                 | Effet des biostimulants sur le teneur en azote total des grains .....        | 64        |
| .II.3.6                                 | Quantité d'azote exportée (Exp N) (kg/ha) .....                              | 65        |
| II.3.7.                                 | Apports en eau par stade phénologique durant le cycle cultural .....         | 66        |
| <b>CONCLUSION.....</b>                  |                                                                              | <b>68</b> |
| <b>REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES.....</b> |                                                                              | <b>71</b> |
| <b>ANNEXE .....</b>                     |                                                                              | <b>79</b> |

# *Liste des Tableaux*

|                                                                                                                                     |                                    |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------|
| Tableau 1 : Principaux indicateurs de la filière blé en Algérie en 2023.....                                                        | 9                                  |
| Tableau 2 : Sommes des températures pour les différentes phases du développement du blé (Vilain, 1987). .....                       | 16                                 |
| Tableau 3 : Données climatiques de la région de Ouargla (2015 à 2024). .....                                                        | 26                                 |
| Tableau 4 : Calendrier des applications foliaires et doses des produits utilisés selon les stades de croissance de la culture ..... | <b>Erreur ! Signet non défini.</b> |
| Tableau 5: Résultats d'analyse physico-chimique du sol .....                                                                        | 46                                 |
| Tableau 6: Résultats de l'analyse physico-chimique de l'eau d'irrigation (pH et CE à 25°C).....                                     | 49                                 |

# *Liste des photos*

|                                                                             |    |
|-----------------------------------------------------------------------------|----|
| Photo 1: Système d'irrigation par pivot                                     | 31 |
| Photo 2. Préparation des doses du biostimulant                              | 33 |
| Photo 3.Procédure d'application des traitements                             | 34 |
| Photo 4.Test de germination                                                 | 35 |
| Photo 5. Semoir combiné utilisé pour le semis                               | 37 |
| Photo 6. Opération de récolte manuelle                                      | 39 |
| Photo 7. Cadre en bois utilisé pour le prélèvement des échantillons         | 40 |
| Photo 8.Stade 2–3 feuilles du blé dur, observé sur le terrain expérimental  | 40 |
| Photo 9: Stade 2–3 feuilles du blé dur, observé sur le terrain expérimental | 41 |
| Photo 10. Mesure du poids de mille grains (PMG)                             | 42 |
| Photo 11. Opération de séchage des échantillons de blé dans l'étuve         | 43 |

# *Liste des figures*

|                                                                                                                               |    |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Figure 1 : Les stades phénologiques de blé .....                                                                              | 14 |
| Figure 2 : Situation géographique de la ville de Ouargla .....                                                                | 25 |
| Figure 3: Localisation géographique de la zone d'étude (Google Earth) .....                                                   | 30 |
| Figure 4. Dispositif expérimental. ....                                                                                       | 34 |
| Figure 5. Cultivateur à dents équipé d'un rouleau utilisé pour le travail du sol .....                                        | 36 |
| Figure 6. Évolution du pH du sol en fonction de la profondeur avant et après la culture .....                                 | 48 |
| Figure 7. Évolution de la conductivité électrique (dS/cm) du sol en fonction de la profondeur avant et après la culture ..... | 49 |
| Figure 8. Durée des stades phénologiques du blé dur ( <i>Triticum durum</i> Desf.) .....                                      | 51 |
| Figure 9. Variation de la densité de peuplement (plants/m <sup>2</sup> ) .....                                                | 52 |
| Figure 10. Variation du nombre d'épis/m <sup>2</sup> en fonction des doses de biostimulants .....                             | 53 |
| Figure 11. Variation nombre de grains par épi en fonction des doses des biostimulants.....                                    | 55 |
| Figure 12. Variation du nombre d'épillets par épi en fonction des doses des biostimulants .....                               | 56 |
| Figure 13. Variation de poids de mille grains en grammes en fonction des doses des biostimulants.....                         | 57 |
| Figure 14. Variation de rendement en grains (RDT q/ha) en fonction des doses des biostimulants .....                          | 58 |
| Figure 15. Variation de rendement en biomasse (tiges + épis) en fonction des doses des biostimulants ..                       | 60 |
| Figure 16. Variation de longueur de l'épi (cm) en fonction des doses des biostimulants.....                                   | 61 |
| Figure 17. Variation de la hauteur des tiges (cm) en fonction des doses des biostimulants .....                               | 62 |
| Figure 18. Variation de la hauteur des plantes en fonction des doses des biostimulants .....                                  | 63 |
| Figure 19. Variation de la teneur en azote des grains (%) en fonction des doses des biostimulants .....                       | 64 |
| Figure 20. Variation de l'azote exporté en Kg par ha en fonction des doses biostimulants .....                                | 65 |
| Figure 21. Apport en eau selon les stades de croissance du blé dur .....                                                      | 66 |

# Liste des abréviations

**PH** : Potentiel d'Hydrogène

**P.M.G** : Poids de 1000 grains.

**C.E.** : Conductivité électrique.

**T° max (°C)** : températures maximales.

**T° min (°C)** : températures minimales.

**P (mm)** : précipitations.

**H (%)** : l'humidité de l'air.

**V (m/s)** : la vitesse du vent.

**D** : Dose

**RDT** : Rendement en grains.

**RDT Gr** : Rendement en grains

**Moy** : Moyennes générale

**Min** : Minimum

**Max** : Maximum

**INRA** : Institut National de la Recherche Agronomique d'Algérie

**ITGC** : Institut Technique des Grandes Cultures

**dS/m** : Siemens par mètre

**ANOVA** : Analyse de la variance

**D0** : DOSE 0 = Témoin

**P** : Probabilité

**F** : Test de Fisher

**CCLS** : Coopérative de Céréales et de Légumineuses Sèches

**USDA** : United States Department of Agriculture

**ITCF** : Institut Technique des Céréales et des Fourrages

**PAM** : Programme alimentaire mondial

**PNUE** : Programme des Nations Unies pour l'environnement

**FAO** : Food and agricultural Organization

**CV** : Coefficient de variation

**P** : Profondeur

# Introduction

### Introduction

La sécurité alimentaire constitue l'un des grands défis auxquels sont confrontés de nombreux pays, notamment les pays en développement. Elle est définie comme une situation garantissant la disponibilité d'une alimentation suffisante, sûre et nutritive pour tous les individus en tout temps, répondant à leurs besoins et leur permettant de mener une vie saine et active (FAO, 2021).

Ce concept revêt une importance capitale face aux défis climatiques, sociaux et économiques qui entravent la production et la distribution équitable des aliments.

Les rapports du Programme alimentaire mondial indiquent que le renforcement de la sécurité alimentaire contribue directement à la réduction de la pauvreté et au développement économique et social, en soutenant la stabilité de la production agricole et en améliorant l'accès à l'alimentation (PAM, 2022).

Les études scientifiques confirment également que la sécurité alimentaire est étroitement liée à la durabilité environnementale, car les systèmes de production agricole nécessitent un équilibre qui préserve les ressources naturelles et assure la continuité des approvisionnements alimentaires pour les générations futures (FAO, 2019).

Dans ce contexte, l'agriculture est la pierre angulaire pour garantir la sécurité alimentaire, fournissant les principales sources de nourriture et de matières premières pour les industries alimentaires. L'amélioration de la production agricole et l'augmentation de son efficacité sont des facteurs décisifs pour assurer la stabilité des approvisionnements alimentaires aux niveaux national et mondial (FAO, 2021).

Le rapport de la Banque mondiale souligne que l'investissement dans les techniques d'agriculture durable et l'innovation agricole accroît la productivité tout en préservant les ressources naturelles, permettant ainsi aux pays de faire face aux défis climatiques et environnementaux qui affectent négativement la production agricole (Banque mondiale, 2019). Par ailleurs, le Programme des Nations Unies pour l'environnement insiste sur le rôle de l'agriculture durable dans la réduction de la dégradation des sols et des eaux, soutenant ainsi des systèmes alimentaires sains et stables (PNUE, 2020).

La production céréalière, en particulier celle du blé tendre et dur, est au premier plan des cultures assurant la sécurité alimentaire des populations d'Afrique du Nord, dont l'Algérie où le blé



dur (*Triticum durum*) est la culture la plus importante en termes de surface cultivée et de consommation locale. Toutefois, la production nationale ne couvre qu'une partie de la demande, ce qui conduit l'Algérie à dépendre des importations pour satisfaire ses besoins (FAO, 2021).

La productivité du blé dur est liée à plusieurs facteurs environnementaux et techniques, tels que la quantité de précipitations, la qualité des sols et l'application de pratiques agricoles améliorées comme la fertilisation et l'irrigation (USDA, 2022).

Par ailleurs, la recherche de Benbelkacem et al. (2020) indique que l'expansion de l'utilisation des variétés améliorées et l'adoption des techniques modernes constituent un enjeu stratégique pour augmenter la productivité.

Cependant, la filière du blé dur en Algérie fait face à plusieurs contraintes majeures, notamment la variabilité climatique, la rareté des pluies, la faible fertilité des sols et le manque d'encadrement technique des agriculteurs.

Les vagues récurrentes de sécheresse jouent un rôle négatif sur les stades de croissance des plantes, impactant ainsi la récolte finale (Tari et al., 2021).

À cela s'ajoute le faible recours aux intrants agricoles modernes et la limitation dans l'application des pratiques d'agriculture de précision ou durable, ce qui affecte la productivité, restée en deçà des potentialités disponibles, nécessitant ainsi des réformes incluant le soutien à la recherche scientifique et le transfert technologique (Boudiar et al., 2020).

Dans ce cadre, la fertilisation joue un rôle vital dans l'amélioration de la production de blé dur, particulièrement en milieu sec, en compensant le déficit en éléments minéraux indispensables à la croissance des plantes. Elle favorise une gestion intégrée des nutriments qui améliore durablement la fertilité des sols et soutient la sécurité alimentaire en augmentant le rendement des cultures (FAO, 2019).

Les études ont montré que la fertilisation foliaire avec des oligoéléments tels que le soufre et le zinc améliore l'absorption des nutriments et a un effet positif sur la croissance et le rendement des plantes (Kaya et al., 2005).

Par ailleurs, les biostimulants représentent une option stratégique dans l'agriculture durable, car ils renforcent les processus biologiques à l'intérieur des plantes sans être considérés comme des engrais traditionnels, augmentant ainsi l'efficacité d'absorption des éléments minéraux et améliorant

la tolérance des plantes aux stress biotiques et abiotiques, renforçant ainsi les cultures dans des conditions climatiques difficiles (Du Jardin, 2015 ; Rouphael et al., 2015).

Dans ce contexte, nous avons mené un essai en plein champ au cours de la campagne agricole 2024–2025 dans la région de Hassi Ben Abdallah, dans la wilaya de Ouargla, afin d'évaluer l'effet de trois types de biostimulants sur le comportement du blé dur (*Triticum durum* Desf.) cultivé sous système d'irrigation par centre pivot.

## *Partie I : Synthèse Bibliographique*

**Chapitre I :**  
**Généralités sur le blé**  
**dur (*Triticum durum*)**

## **I : Généralités sur le blé dur (*Triticum durum*)**

### **I.1 Origine et historique :**

Le blé dur (*dourum*) est né d'une forme domestiquée d'une espèce sauvage appelée le blé émmér (*Triticum dicoccum* Koern.) entre 12 000 et 10 000 ans, dans la région occidentale du Levant (Hakan et al., 2010).

L'homme a commencé à domestiquer des espèces sauvages telles que l'éinkorn et l'émmer, et au fil du temps, le blé a évolué pour devenir des variétés domestiquées comme le blé monogénique et digénique. Les grandes céréales sauvages, telles que le blé et l'orge, attiraient les chasseurs-cueilleurs de l'époque en raison de leur facilité de récolte et de leur valeur nutritionnelle.

La première preuve de l'utilisation de ces céréales provient du site d'Ohalo II, où des graines d'orge et d'émmer sauvage ont été découvertes il y a environ 19 000 ans. Pendant la période natoufienne (de 13 000 à 10 300 ans avant notre ère), les chasseurs-cueilleurs ont commencé à récolter ces céréales ainsi que d'autres plantes, ce qui a conduit à l'apparition de colonies permanentes ou semi-permanentes dépendant de la chasse et de la cueillette (Feldman et Kislev, 2007).

Malgré les défis liés à la diversité génétique dus à la domestication, le blé a continué à s'adapter à divers environnements grâce à la polyploïdie (Dubcovsky, Dvorak, et al., 2007).

### **I.2 Importance du blé dur (*Triticum durum*)**

#### **I.2.1. Importance économique**

Le blé dur (*Triticum turgidum* L. ssp. *Durum*) est considéré comme une céréale secondaire à l'échelle mondiale, mais il revêt une importance particulière dans certaines régions géographiques où il constitue la culture principale, jouant ainsi un rôle crucial dans la sécurité alimentaire et le soutien des revenus agricoles (Martínez-Moreno et al., 2022 ; Tedone et al., 2018).

Le blé dur représente également un élément clé dans les chaînes de valeur alimentaire des régions productrices, contribuant de manière significative au renforcement de l'économie locale, notamment dans les pays du bassin méditerranéen.

De plus, il constitue un moteur économique majeur pour la production de semoule et de produits dérivés des pâtes, largement consommés à l'échelle mondiale. Enfin, les programmes de sélection génétique visant à améliorer le blé dur cherchent à accroître sa productivité et à obtenir une rentabilité économique plus élevée, contribuant ainsi de manière tangible au renforcement de la sécurité alimentaire mondiale (Mohammadi et Haghparast, 2022).

### 1.2.2. Importance alimentaire

Le blé dur (*Triticum durum*) est considéré comme l'une des céréales de base dans l'alimentation mondiale, occupant la deuxième place après le riz en termes de consommation par un tiers de la population mondiale. Le blé dur se distingue par sa facilité de préparation et de cuisson rapide, ce qui en fait un choix privilégié pour la fabrication de pâtes et de nombreux autres produits alimentaires. De plus, sa valeur nutritionnelle et son coût abordable en font un élément essentiel dans de nombreux régimes alimentaires à travers le monde (Saini et al., 2022).

Des études ont montré que le blé dur présente une composition nutritionnelle équilibrée, comprenant des protéines entre 12 et 16 %, des glucides à 70 %, des lipides à 1,9 %, des fibres à 1,6 % et des minéraux à 1,6 %. De plus, la semoule extraite de ce blé se distingue par sa haute qualité, sa longue durée de conservation et ses caractéristiques sensorielles et structurelles qui rendent ses produits très prisés (Marcotuli et al., 2020).

En ce qui concerne les minéraux, le blé dur est une source riche en fer, zinc et calcium. Des études récentes ont révélé que la variété *Eminbey* présente les concentrations les plus élevées en fer et en zinc par rapport à d'autres variétés, ce qui en fait un choix idéal pour améliorer la valeur nutritionnelle des aliments. Il a également été observé que la transformation du blé en semoule réduit les niveaux d'acide phytique, ce qui facilite l'absorption des minéraux par le corps.

En outre, le blé dur contient une quantité significative de bêta-carotène, qui est une source naturelle de vitamine A. Ce composé, qui possède des propriétés antioxydantes, aide à soutenir la santé des yeux et du système immunitaire, renforçant ainsi sa valeur nutritionnelle globale. Le bêta-carotène fait partie de la composition du blé dur, contribuant à accroître les bienfaits pour la santé de ce type de céréale (Unsal Canay et al., 2022,).

### **I.3 Aperçu sur la filière du blé aux échelles mondiale, africaine et nationale (Algérie)**

#### **I.3.1. Situation mondiale du blé**

Le blé dur est l'une des principales céréales cultivées dans le monde, occupant la dixième position en termes de production mondiale (Broccanello et al., 2023).

Dans le secteur du blé, il arrive en deuxième position après le blé tendre (Marti et Slafer, 2014).

La production annuelle de blé dur est estimée entre 35 et 40 millions de tonnes (De Vita et Taranto, 2019). Cela représente environ 7 % de la production mondiale totale de blé (Broccanello et al., 2023).

Historiquement, la contribution du blé dur était plus élevée, représentant entre 14 % et 16 % de la production mondiale de blé au XIX<sup>e</sup> siècle (Martínez-Moreno et al., 2022).

Actuellement, le Canada est le premier producteur mondial de blé dur, avec une production annuelle de 5,2 millions de tonnes (Xynias et al., 2020) ; Il est suivi par l'Italie avec 4,3 millions de tonnes, puis par la Turquie avec 3,7 millions de tonnes (Sabella et al., 2020).

La culture du blé dur couvre environ 18 millions d'hectares dans le monde, soit entre 8 % et 10 % de la superficie totale consacrée au blé (De Vita and Taranto, 2019). Cette culture est principalement concentrée autour du bassin méditerranéen, dans les grandes plaines d'Amérique du Nord, ainsi qu'en Asie occidentale et centrale (Ceglar et al., 2021).

#### **I.3.2. Situation continentale du blé**

En Afrique, notamment au sud du Sahara, l'Éthiopie est le principal producteur de blé dur (Sall et al., 2019).

En Europe, certains pays comme la Pologne se sont récemment tournés vers la culture du blé dur (Bozek et al., 2021), illustrant ainsi l'expansion de cette culture vers l'Europe centrale et orientale.

Les rendements varient considérablement selon les régions : en Italie, ils oscillent entre 3,1 et 3,8 tonnes/hectare, tandis qu'en Turquie, ils se situent entre 2,6 et 3,2 tonnes/hectare.

D'autres pays européens comme l'Allemagne, la France, la Croatie et la Slovaquie enregistrent des rendements plus élevés, atteignant environ 5 tonnes/hectare (Eurostat, 2023a).

I.3.3. Situation du blé en Algérie

En Algérie, la production céréalière pour l'année 2024 est estimée à environ 4,1 millions de tonnes, un niveau proche de la moyenne habituelle, ce qui reflète l'importance continue de ces cultures, en particulier du blé dur, dans la garantie de la sécurité alimentaire nationale et le soutien à l'économie agricole (FAO, 2024).

Bien que le blé dur occupe une place centrale dans le système alimentaire algérien, les rendements restent limités (Merouche et al., 2014).

En termes de consommation, l'Algérie figure parmi les plus grands consommateurs de blé dur au monde, aux côtés de l'Italie, de la Tunisie et de la Turquie (Sabella et al., 2020), en raison du rôle essentiel que joue cette céréale dans la préparation des plats traditionnels comme le couscous et les pâtes locales.

En complément, les principaux indicateurs relatifs à la filière blé en Algérie pour l'année 2023 sont présentés dans le tableau suivant, tels que rapportés par : (USDA Foreign Agricultural Service, 2024 ; USDA International Production Assessment Division, 2024 ; MarketScreener, 2023 ; World-Grain, 2023).

Tableau 1 : Principaux indicateurs de la filière blé en Algérie en 2023

| Indicateur          | Valeur                  |
|---------------------|-------------------------|
| Production de blé   | 2,7 millions de tonnes  |
| Consommation de blé | 11,7 millions de tonnes |
| Importation de blé  | 8,7 millions de tonnes  |
| Superficie cultivée | 2,0 millions d'hectares |

Les données nationales relatives à la production et à la consommation du blé révèlent un déséquilibre structurel important, la production locale (2,7 millions de tonnes) ne couvrant qu'une faible part de la demande nationale (11,7 millions de tonnes), ce qui entraîne l'importation de volumes considérables (8,7 millions de tonnes) chaque année. De plus, le rendement moyen reste faible (environ 1,35 tonne/hectare) malgré une superficie emblavée de 2 millions d'hectares, ce qui reflète les limites des pratiques agricoles actuelles. Cela souligne la nécessité de promouvoir des approches agricoles durables et d'améliorer les techniques de production afin d'assurer une véritable sécurité alimentaire



#### **I.4 Classification botanique du blé et ses caractéristiques génétiques**

Le blé est une plante monocotylédone appartenant au genre *Triticum* de la famille des *Gramineae*. Son grain, appelé caryopse, est un fruit sec indéhiscant constitué d'une graine entourée de téguments. Parmi les espèces cultivées, les plus répandues sont le blé tendre (*Triticum aestivum*) et le blé dur (*Triticum durum*) (Feillet, 2000).

Ces espèces se différencient principalement par leur degré de ploïdie et leur nombre de chromosomes : les blés diploïdes possèdent un génome AA (14 chromosomes), les blés tétraploïdes combinent les génomes AA et BB (28 chromosomes), tandis que les blés hexaploïdes réunissent les génomes AA, BB et DD (42 chromosomes).

Le blé tendre, hexaploïde, possède ainsi 42 chromosomes répartis en trois génomes de sept paires chacun (A1...A7, B1...B7, D1...D7), alors que le blé dur, tétraploïde, ne contient que les génomes AA et BB, totalisant 28 chromosomes, ce qui lui confère des propriétés génétiques et technologiques spécifiques (Feillet, 2000).

**Selon Angiosperm Phylogeny Group (2016), la classification taxonomique du blé dur est la suivante:**

**Règne :** *Plantae*

**Clade (≈ Sous-règne) :** *Tracheophyta (plantes vasculaires)*

**Clade (≈ Super-division) :** *Spermatophyta (plantes à graines)*

**Clade (≈ Division) :** *Angiospermes (plantes à fleurs)*

**Clade (≈ Classe) :** *Monocotylédones*

**Ordre :** *Poales*

**Famille :** *Poaceae (graminées)*

**Sous-famille :** *Pooideae*

**Tribu :** *Triticeae*

**Genre :** *Triticum*

**Espèce :** *Triticum durum* Desf.

#### **I.5 Les stades phénologiques de blé**

Belagrouz (2021) indique que le cycle évolutif du blé se divise en trois périodes principales, chacune comprenant des phases caractérisées par des stades repères marquant le développement de la plante. Les périodes de croissance du blé sont les suivantes :

### **I.5.1. La période végétative :**

Elle correspond à la phase semis/levée (stades levés et 3 feuilles) et la phase tallage (stades début tallage, plein tallage et fin tallage) (Chadli et Mohamed, 2015).

#### **a) La phase semis/levée :**

La phase de germination-levée marque le début du développement de la plante, correspondant à la reprise de l'activité biologique de la graine après une période de dormance (Tourte et al., 2005 ; Théron, 1964). Cela se manifeste par l'absorption d'eau par l'embryon, l'augmentation de son volume et la mobilisation de ses réserves nutritives, ce qui lui permet de se libérer de ses enveloppes (Binet et Brunel, 1999). Le processus de germination commence par l'apparition de la radicule, suivie par celle de la coléoptile, qui protège la première feuille durant sa traversée du sol (CHABI, KAFI et KHILASSI, 1992).

Une fois à la surface, cette feuille perce l'apex de la coléoptile, marquant le début de la phase de croissance végétative (I.T.C.F., 2002). La réussite de cette phase nécessite une température appropriée, une bonne aération du sol ainsi qu'un taux d'humidité suffisant (CHABI, KAFI et KHILASSI, 1992). Enfin, la levée est considérée comme effective lorsque 50 % des plantules ont émergé à la surface du sol (Ouanzar, 2012).

#### **b) Stade 2 à 3 feuilles :**

Le stade « 2 à 3 feuilles » constitue une phase de référence importante dans le développement du blé. Après la levée, les ébauches foliaires, disposées de manière alternée de la base jusqu'au tiers supérieur de l'apex, croissent et émergent à un rythme régulier, sous l'influence de facteurs externes tels que la durée du jour et l'intensité du rayonnement solaire (Gate, 1995 ; Soltner, 1999 ; Gate et Giban, 2003).

#### **c) Stade Tallage :**

Le tallage est une phase du développement des plantes herbacées, caractérisée par l'apparition de ramifications latérales à mesure que le nombre de feuilles augmente (GATE, 1995). Cette phase débute par l'émergence de la première talle primaire à l'aisselle de la feuille la plus âgée lorsque la plante atteint trois feuilles, suivie par la formation de talles secondaires à l'aisselle des feuilles des talles primaires.

Cette étape est également marquée par la formation de nouvelles racines et de nouvelles talles (Mekliche, 1983). Elle correspond à la fin de la phase végétative et au début de la phase reproductive, qui conduit à l'allongement des entre-nœuds et à la formation des ébauches florales (GATE, 1995).

Selon GATE et GIBAN (2003) ainsi que Meziani (1987), le tallage commence à la fin de l'hiver et se poursuit jusqu'au début du printemps, s'interrompant lorsque l'apex atteint un stade avancé de développement floral. D'après l'I.T.C.F. (2002), l'apparition de la première talle en dehors de la gaine de la première feuille marque le début du tallage.

Enfin, Belaid (1996) souligne que les talles primaires peuvent produire des talles secondaires, lesquelles peuvent à leur tour générer des talles tertiaires, contribuant ainsi à augmenter la densité de la couverture végétative. Le tallage prend fin lorsque l'apex est suffisamment développé pour initier les structures florales.

### **I.5.2. Période reproductrice :**

Durant cette période, le tallage et l'élongation des entre-nœuds commencent. Cette période est caractérisée par le passage du bourgeon terminal ou l'apex à l'état d'ébauche d'inflorescence (Soltner, 1980). Elle comprend les phases suivantes :

#### **a) Stade montaison :**

La phase de montaison débute lorsque les entre-nœuds se détachent du plateau de tallage et que l'épi commence à se former à l'intérieur de la tige. Cette étape nécessite des conditions spécifiques, notamment une photopériode d'au moins 11 heures et une accumulation thermique minimale de 600 °C (BELAID, 1987 ; COUVREUR, 1981).

La phase « épi 1 cm » est atteinte lorsque le sommet de l'épi se situe à 1 cm du plateau de tallage (GATE et GIBAN, 2003).

Elle est suivie par la phase des deux nœuds, marquée par l'apparition claire des deux premiers nœuds sur la tige principale.

Ensuite, la phase de gonflement se manifeste par le gonflement de la gaine de la dernière feuille dû à la croissance de l'épi, accompagnée du début de la méiose et de la formation des grains de pollen (GATE, 1995 ; BOULAL et al., 2007).

Enfin, la durée de la montaison est estimée entre 29 et 30 jours (CLEMENT GRANDCOURT et PRAT, 1970 ; KHACHOUCHE et MERIMI, 2018).

**b) Stade épiaison :**

Selon Maume et Dulac (1936), la phase d'épiaison commence lorsque l'épi apparaît hors de sa gaine foliaire et se libère progressivement de celle-ci. Cette phase dure de 7 à 10 jours et dépend des variétés et des conditions environnementales, comme l'indique Martin-Prevel (1984).

Au cours de cette période, le nombre total d'épis est défini. La floraison, selon Youcef (2009) et Hoggas (2008), commence lorsque les étamines sont visibles dans le tiers moyen de l'épi. Cette phase peut durer entre 4 à 15 jours après l'épiaison, en fonction des conditions climatiques.

Enfin, la fécondation se produit lorsque les anthères sortent des glumelles et que le nombre d'épis fécondés est déterminé. Selon Soltner (1988), la fécondation dépend d'une bonne nutrition azotée et d'une évapotranspiration modérée.

**I.5.3. Période de formation et de maturation du grain :**

Concerne les stades de grossissement des grains puis de maturation de ces grains.

**a) Stade maturation :**

Les grains passent par plusieurs étapes au cours de leur maturation. La première est la phase de "grossissement", où les ressources du plant sont concentrées sur le remplissage des grains en utilisant la matière sèche stockée dans les tiges et les feuilles, ce qui entraîne progressivement une augmentation du poids des grains dans l'épi (Boulelouah, 2002 ; Gate, 1995 ; Youcef, 2009).

Au début de cette phase, les besoins des grains sont inférieurs à ce que fournissent les parties aériennes, mais ces besoins augmentent à mesure que la phase progresse, ce qui conduit à une diminution de la matière sèche dans les parties aériennes, transférée vers les grains.

Cela est suivi de la phase "grain laiteux", où les grains contiennent environ 50 % d'humidité et où le stockage des protéines cesse. Ensuite, les grains passent à la phase "pâteuse", caractérisée par une augmentation de la teneur en amidon et une diminution progressive de l'humidité. Cette phase se termine par la maturité complète, où les grains deviennent durs, brillants et jaunes, avec une teneur en humidité d'environ 20 %. Selon Youcef (2009), cette phase dure environ 45 jours.

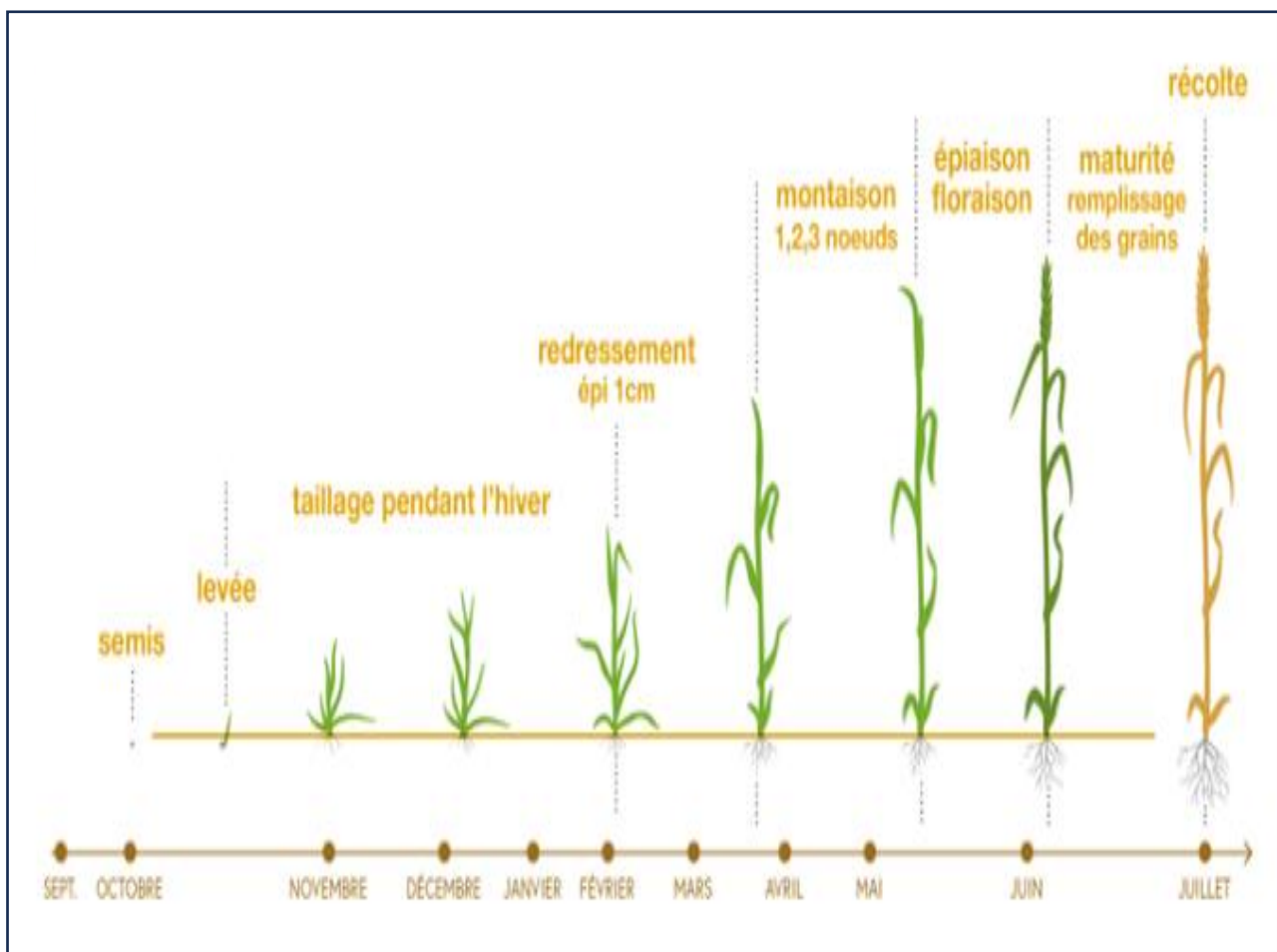


Figure 1 : Les stades phénologiques de blé

Source : VIVESCIA, « Cycle du blé » (2022).

## I.6 Exigences pédoclimatiques du blé dur

### I.6.1. Exigences climatiques du blé dur

#### I.6.1.1. Humidité (Eau) :

Le blé dur est plus adapté aux régions à faible pluviosité par rapport au blé tendre, sa production étant concentrée dans les zones montagneuses du nord de l'Algérie, à des altitudes comprises entre 1800 et 2800 mètres. Pour obtenir une récolte satisfaisante, le blé dur nécessite au moins 250 mm d'eau (Chekhma, 2020).

L'eau est un facteur crucial pour la croissance du blé en général, car cette culture nécessite une humidité constante tout au long de son cycle de développement.

Selon SOLTNER (1988), les besoins en eau du blé varient autour de 800 mm dans des conditions normales. En zone aride, les besoins sont plus élevés au vu des conditions climatiques défavorables.

FAO (2012) et Allen et al. (1998) indiquent que les besoins en eau du blé selon les différentes phases de croissance sont les suivants :

- Germination et stade levée : de 60 à 90 mm.

Dans la phase de tallage, selon Zhang et Chao (2011) et IWMI (2012) :

- 90 à 120 mm d'eau.

Arvalis (2000) et Bonnefoy et Moynier (2014) mentionnent que pendant les autres phases de croissance, les besoins en eau sont les suivants :

- Pendant la phase de (1 cm de l'épi aux 2 nœuds), le blé nécessite **60 mm** d'eau.
- Pendant la phase de (2 nœuds à la floraison), le blé nécessite **160 mm** d'eau.
- Pendant la phase de (floraison à la laiteuse), le blé nécessite **140 mm** d'eau.
- Pendant la phase de (laiteuse à maturité), le blé nécessite **90 mm** d'eau.

#### **I.6.1.1. Température :**

Selon BELAID (1987), le blé nécessite des températures appropriées tout au long de son cycle de développement, avec des besoins thermiques globaux variant entre 1800 et 2400 °C selon les variétés. Il précise que la température agit sur la vitesse de croissance sans modifier les potentialités génétiques de la plante, la somme des températures accumulées étant le facteur déterminant pour l'expression de ces potentialités. Chaque stade de développement du blé exige des températures spécifiques pour assurer une croissance optimale.

Comme l'ont indiqué Boyldieu (1982), le seuil thermique de croissance du blé dur est de 0 °C, tandis que la température optimale pour son développement se situe entre 20 et 22 °C, avec une tolérance jusqu'à 35 °C.

Selon OE. Ondo (2014), la germination du blé commence dès que la température dépasse 0 °C, avec une température optimale de croissance comprise entre 15 et 22 °C. Il confirme que, bien que la température influence la vitesse de développement, elle n'altère pas les potentialités

génétiques de la plante, rejoignant ainsi les observations de BELAID (1987) sur le rôle de la somme thermique dans l'expression de ces potentialités.

D'après BEBBA (2011) (cité par GASMI W et DEHIRI A, 2018), la température reste un facteur déterminant à chaque phase du cycle végétatif du blé. La germination est bloquée à 0 °C, tandis que la phase de croissance végétative nécessite des températures comprises entre 15 et 25 °C. De plus, l'aptitude à la montaison est influencée par la température ainsi que par la durée du jour.

Selon Vilain (1987), les besoins du blé dur en sommes de températures varient en fonction des différentes phases de son développement physiologique, et ces besoins sont détaillés dans le tableau 02.

**Tableau 2 : Sommes des températures pour les différentes phases du développement du blé (Vilain, 1987).**

| Phases              | Sommes des températures (°C) |
|---------------------|------------------------------|
| Semis-Levée         | 150                          |
| Levée-Fin tallage   | 500                          |
| Montaison-Floraison | 850                          |
| Floraison-Maturité  | 850                          |
| Semis-Maturité      | 2350                         |

#### **I.6.1.2. La lumière:**

Selon BEBBA (2011) rapporté par GASMI W et DEHIRI A (2018), la lumière constitue un facteur essentiel influençant l'efficacité de la photosynthèse ainsi que le comportement du blé. Un bon éclairage permet un tallage optimal et un développement végétatif satisfaisant.

Comme l'ont souligné Kalarasse (2018), Dekar (1993) et Soltner (1998), la lumière et la photopériode jouent un rôle crucial dans la régulation des phases physiologiques du blé, notamment la floraison et la montaison. La photopériode affecte la durée de la phase végétative, et les variétés diffèrent quant à leur sensibilité à ce facteur. De plus, Soltner (1998) précise que l'intensité lumineuse ainsi que l'aération influencent fortement l'activité photosynthétique.

Selon Moule (1980), la durée de la période végétative des variétés de printemps dépend de la longueur du jour ; en jours longs, cette période est raccourcie.

Gate (1997) indique également que les densités de semis élevées entraînent une compétition pour la lumière entre les plantes, une compétition qui devient particulièrement marquée dès le début de la montaison.

### **I.6.2. Exigences édaphiques (pédologiques) du blé dur**

Selon OEondo (2014) et Maachi (2005) cités par GASMI W et DEHIRI A (2018), le blé requiert un sol profond et bien drainé pour assurer un développement optimal. Il préfère des sols limono-calcaires ou argilo-siliceux, riches en éléments fins. Le blé dur est particulièrement sensible à la calcarosité et à la salinité ; ainsi, un pH compris entre 6,5 et 7,5 est recommandé car il favorise l'assimilation de l'azote et des autres éléments nutritifs essentiels à sa croissance.

De plus, le blé a besoin d'un sol sain, capable d'évacuer correctement l'eau en hiver tout en conservant une bonne réserve en eau sans excès, afin d'éviter les risques de stress hydrique pendant les phases critiques de son développement, comme la phase de stabilisation hydrique. À l'inverse, un sol peu profond augmente les risques de sécheresse, pouvant nuire à la croissance des racines et au développement global de la plante.

#### **I.6.2.1. Exigence du blé en éléments minéraux essentiels NPK**

##### **a) En azote (N)**

L'azote est un élément essentiel pour la croissance du blé, contribuant à la formation des protéines végétales, des enzymes et de la chlorophylle (Hamadouche, 2013). Il influence la formation de la biomasse et la détermination du nombre d'épis au cours des différentes étapes de croissance (Grignac, 1977).

Le blé nécessite environ 3 à 3,5 kg d'azote pour produire un quintal de blé dur (Viaux, 1981 ; ASFERTRADE, 2019), et ses besoins en azote augmentent considérablement pendant la floraison.

##### **b) En phosphore (P)**

Selon Larousse Agricole (2002), le phosphore est un élément essentiel pour favoriser la croissance des racines et augmenter le tallage des plantes. Il contribue également à améliorer leur résistance aux conditions climatiques difficiles, telles que le froid. De plus, le phosphore joue un rôle clé dans de nombreux processus physiologiques importants, comme la photosynthèse, ce qui stimule la croissance des plantes et améliore leur productivité.



D'autre part, Asfertrade (2019) indique que le blé dur nécessite environ 1,8 kg de phosphore pour produire un quintal de récolte, ce qui souligne l'importance de cet élément pour améliorer la productivité agricole de manière significative.

**c) En potassium (K)**

Selon BURTIN et BROBECK-ALLARD (2015), la plupart des cultures nécessitent un équilibre approprié entre le potassium et l'azote. D'après Awaad et al. (2016), le potassium est absorbé sous forme d'ions  $K^+$  à partir de la solution du sol, ce qui en fait un élément essentiel pour la croissance des plantes.

En ce qui concerne le blé, Pettigrew (2008) indique que le blé n'est pas une culture nécessitant de grandes quantités de potassium, mais que son besoin augmente particulièrement pendant les phases de floraison et de tallage, où sa carence a un impact négatif sur le rendement et la qualité. Selon ASFERTRADE (2019), la production d'un quintal de blé dur nécessite environ 2,8 kg de potassium.

# **Chapitre II :**

## **Généralités sur La**

### **fertilisation foliaire Et**

#### **Les biostimulants**

## **II Généralités sur la fertilisation foliaire et Les biostimulants**

### **II.1. La fertilisation foliaire**

La fertilisation foliaire est une technique agricole consistant à fournir aux plantes les éléments nutritifs nécessaires par pulvérisation directe d'une solution fertilisante sur les feuilles.

Cette méthode s'est révélée efficace pour compléter les besoins des plantes en macronutriments et micronutriments, ainsi qu'en hormones végétales, stimulants et autres composés bénéfiques à la croissance et à la production (Kumar et al., 2020).

La fertilisation foliaire est une solution efficace pour surmonter les problèmes de nutrition des plantes, notamment lorsque la disponibilité des éléments nutritifs dans le sol est réduite, en cas de pertes rapides de ces éléments, ou lorsque les conditions environnementales et physiologiques entravent leur transport vers les parties vitales de la plante (Fernández et al., 2013).

### **II.2. Les effets de la fertilisation foliaire**

#### **II.2.1. Sur les cultures :**

De nombreuses études montrent que les engrais foliaires jouent un rôle essentiel dans l'amélioration de la qualité du rendement et du métabolisme des cultures (Fernández et Brown 2013). En effet, ces engrais permettent de corriger les carences nutritionnelles des plantes, d'augmenter leur teneur en oligo-éléments dans les feuilles et les fruits, ce qui entraîne une amélioration notable du rendement et de la qualité des récoltes (Gao et al. 2018).

En outre, les engrais foliaires s'avèrent être une méthode efficace pour renforcer la résistance des cultures face aux différents stress abiotiques, tels que la salinité, les déficits ou excès d'eau, ainsi que les températures extrêmes (Artyszak 2018).

#### **II.2.2. Sur la qualité du sol :**

La fertilisation foliaire permet aux plantes d'absorber directement les éléments nutritifs par les feuilles, réduisant ainsi la dépendance aux racines et atténuant les effets négatifs de la fertilisation du sol sur la qualité de ce dernier. Elle contribue également à diminuer l'accumulation de sels dans le sol (Xu et al., 2018).

### **II.2.3. Sur l'absorption des éléments nutritifs appliqués au sol :**

De nombreuses études ont montré que les composants des engrais foliaires aident les plantes à mieux absorber les éléments nutritifs présents dans le sol (Zheng et al., 2018). Il a également été prouvé que la combinaison de la fertilisation foliaire et de la fertilisation au sol est plus efficace que l'utilisation de l'une ou l'autre seule. Bien que la capacité de la fertilisation foliaire soit limitée en termes de quantité de nutriments absorbés, ces éléments peuvent être transportés vers les racines via la tige, stimulant ainsi l'activité des racines, retardant leur vieillissement et améliorant leur capacité d'absorption (Poblaciones et Rengel, 2016).

### **II.3. Les biostimulants en agriculture**

Franzoni et al. (2022) définissent les biostimulants comme des outils agronomiques innovants qui, selon les concentrations utilisées, se situent à mi-chemin entre les engrais et les régulateurs de croissance des plantes. Il s'agit de produits organiques ou inorganiques renfermant des substances bioactives et/ou des micro-organismes capables, lorsqu'ils sont appliqués sur la plante ou dans la rhizosphère, de stimuler la croissance et la productivité végétales.

Cela se fait notamment par l'amélioration de l'absorption et de l'assimilation des nutriments, l'augmentation de la tolérance aux stress abiotiques, ou encore l'amélioration de la qualité des produits, indépendamment de leur contenu nutritif.

### **II.4. Classification des biostimulants**

Au fil des années, plusieurs chercheurs ont proposé différentes classifications des biostimulants en fonction de leur origine, de leurs principaux composants ou de leur mode d'action. Selon la classification proposée par Franzoni et al. (2022), les biostimulants peuvent être divisés en cinq grandes catégories :

#### **II.4.1. Algues et extraits de plantes :**

Les algues, y compris les espèces brunes, rouges et vertes, sont une source riche en nutriments et composés bioactifs. Elles sont utilisées en agriculture pour stimuler la croissance des plantes, augmenter la productivité, améliorer la qualité des produits, ainsi que pour renforcer la résistance des cultures aux stress abiotiques.

#### **II.4.2. Substances humiques :**

Les acides humiques et fulviques, qui sont des composants naturels de la matière organique du sol, améliorent la croissance des racines, favorisent l'absorption de l'eau et des nutriments, et augmentent la tolérance des plantes aux stress environnementaux tels que la sécheresse et la salinité.

Protéines hydrolysées et composés azotés :

Ces biostimulants sont issus de l'hydrolyse chimique, enzymatique ou thermique des protéines. Ils favorisent la croissance des plantes et améliorent leur résistance aux stress abiotiques. Cependant, la compréhension complète de leur composition et de leurs mécanismes d'action reste un sujet d'étude.

#### **II.4.3. Micro-organismes:**

Cette catégorie inclut les bactéries, les levures et les champignons filamenteux. Ils sont appliqués au sol ou aux semences et agissent directement ou indirectement en augmentant la disponibilité des nutriments ou en établissant des relations symbiotiques avec les plantes, comme avec les mycorhizes.

#### **II.4.4. Composés inorganiques à action biostimulants :**

Les éléments tels que le sélénium, le silicium, le cobalt et le sodium favorisent la croissance des plantes et augmentent leur résistance aux stress abiotiques.

Ces éléments peuvent améliorer la structure des parois cellulaires et renforcer la réponse des plantes aux conditions environnementales défavorables.

# **PARTIE II :**

## **Etude expérimentale**

# **Chapitre I :**

## **Matériel et méthodes**

## I. Matériel et méthodes

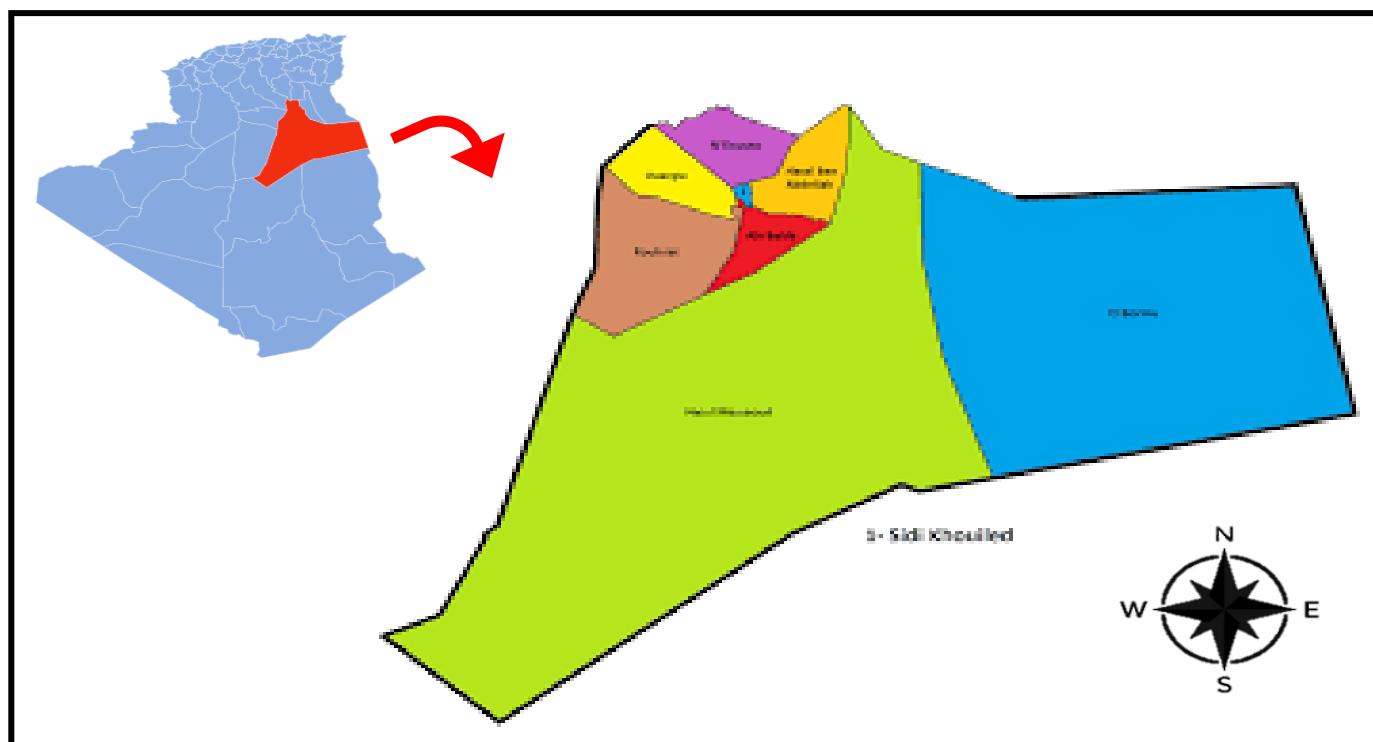
### I.1. Présentation de la région d'étude

#### I.1.1. Situation géographique

La ville de Ouargla est située au sud-est de l'Algérie, à une distance d'environ 800 kilomètres au sud de la capitale, Alger. La wilaya de Ouargla couvre une superficie avoisinant les 163 000 kilomètres carrés, et se positionne au nord-est de la partie septentrionale du Sahara, précisément entre 5°19' de longitude Est et 31°57' de latitude Nord (Rouvillois-Brigol, 1975 ; Dubost, 1991).

Selon Rouvillois-Brigol (1975), la région se trouve à une altitude d'environ 157 mètres au-dessus du niveau de la mer. La ville de Ouargla constitue l'une des principales oasis du sud algérien, comme l'a souligné Dubost (1991).

Elle est située au fond de la dépression naturelle de l'oued Mya, délimitée à l'ouest par les localités de Bamendil et Mekhadma, au nord par Bour-El Haïcha, à l'est par Sidi Khouiled et Hassi Ben Abdellah, et au sud par Béni Thour, Aïn Beida et Rouissat (Rouvillois-Brigol, 1975).



**Figure 2 : Situation géographique de la ville de Ouargla**

Source : Image composite réalisée par Imad et Jaafar à partir de sources en ligne (liens non conservés) .



### I.1.2. Conditions climatiques

Le climat de la région de Ouargla est de type saharien, caractérisé par des températures élevées et un déficit hydrique évident, ainsi qu'une faible humidité de l'air. La région connaît également des vents forts et fréquents, surtout au printemps, dans un contexte de sécheresse qui domine la majeure partie de l'année (BEBBA, 2011).

### I.1.3. Données climatiques

Tableau 3 : Données climatiques de la région de Ouargla (2015 à 2024).

| Paramètres climatiques |                  |             |             |       |       |           |       |           |
|------------------------|------------------|-------------|-------------|-------|-------|-----------|-------|-----------|
| Mois                   | Température (°C) |             |             | P(mm) | H (%) | E.V. (mm) | V m/s | I (heure) |
|                        | T° Max (°C)      | T° min (°C) | T° Moy (°C) |       |       |           |       |           |
| Janvier                | 18,7             | 5           | 11,8        | 8*    | 55    | 90,2      | 53    | 243       |
| Février                | 21               | 6,8         | 13,9        | 2     | 45    | 125,3     | 50    | 235       |
| Mars                   | 25,9             | 10,9        | 18,4        | 5     | 36    | 200,7     | 57    | 260       |
| Avril                  | 30,5             | 15,5        | 23          | 1,5   | 30    | 260,1     | 65    | 285       |
| Mai                    | 35,2             | 20,2        | 27,7        | 1     | 26    | 320,4     | 60    | 300       |
| Juin                   | 40,4             | 25          | 32,7        | 0,2   | 22    | 395       | 52    | 245       |
| Juillet                | 43,7             | 28,3        | 36          | 0,1   | 20    | 450,5     | 58    | 325       |
| Août                   | 42,6             | 27,7        | 35,1        | 0,5   | 24    | 410,8     | 55    | 328       |
| Septembre              | 37,8             | 23,7        | 30,8        | 3     | 33    | 285,2     | 51    | 270       |
| Octobre                | 31,8             | 17,6        | 24,7        | 4     | 40    | 220,3     | 47    | 260       |
| Novembre               | 24               | 10,3        | 17,2        | 5     | 51    | 115       | 44    | 250       |
| Décembre               | 19,3             | 6,1         | 12,7        | 4     | 61    | 85,6      | 41    | 220       |
| Moy. Ann.              | 31,8             | 16,3        | 24,05       | /     | 39    | /         | 52,6  | 266       |
| Cumule                 | /                | /           | /           | 35,3  | /     | 2969,1    | /     | /         |

\* : Cumul

Source : (Tutiempo Network, 2025)

T° Max (°C) : moyennes des températures maximales.

T° min (°C) : moyennes des températures minimales.

P (mm) : moyens des précipitations.

H (%) : moyens de l'humidité de l'air.

E.V : moyens de l'évaporation.

V (km/h) : moyens de la vitesse du vent.

I (heure) : La durée d'insolation par heure.

#### **I.1.3.1. Température**

Selon les données climatiques annuelles présentées dans le (Tableau 1), couvrant la période de 2014 à 2024, la région de Ouargla présente une forte variation thermique entre l'hiver et l'été. Les températures les plus élevées ont été enregistrées au mois de juillet, avec une température maximale moyenne de 43,7 °C, tandis que les plus basses ont été relevées en janvier, avec une température minimale moyenne de 5 °C. Ces valeurs, issues du tableau 1, mettent en évidence l'amplitude thermique marquée qui caractérise le climat de cette région tout au long de l'année.

#### **I.1.3.2. Pluviométrie**

Dans la région de Ouargla, les données mensuelles de la période de 2015 à 2024 montrent que la précipitation annuelle moyenne est très faible, atteignant 35,3 mm. La quantité la plus élevée de pluie a été enregistrée au mois de janvier, avec 8 mm, comme indiqué dans (Tableau 1).

#### **I.1.3.3. Humidité**

D'après les données enregistrées dans le (Tableau 1), l'humidité relative moyenne dans la région de Ouargla au cours de la période 2015–2024 est de 39 %. La valeur maximale a été observée en décembre (61 %), tandis que la minimale a été enregistrée en juillet (20 %), ce qui reflète une variation saisonnière marquée liée à l'élévation des températures et à la faiblesse des précipitations estivales.

#### **I.1.3.4. Évaporation**

Les données d'évaporation enregistrées à Ouargla entre 2015 et 2024 indiquent un cumul total de 2969,1 mm, soit une moyenne annuelle d'environ 296,9 mm. La valeur maximale a été enregistrée en juillet (450,5 mm), tandis que la valeur minimale a été observée en décembre (85,6 mm) (Tableau 1).

#### **I.1.3.5. Vents**

Les données climatiques annuelles enregistrées entre 2014 et 2024 dans la région de Ouargla montrent que la vitesse du vent mensuelle varie entre 41 et 65 m/s, avec une moyenne annuelle de 52,6 m/s, comme indiqué dans (Tableau 1).

#### **I.1.3.6. Insolation**

Les données climatiques enregistrées entre 2015 et 2024 dans la région de Ouargla, telles que présentées dans le tableau (1), révèlent une variation saisonnière marquée de la durée quotidienne d'insolation. Celle-ci oscille entre 7,1 heures par jour en décembre et atteint un maximum de 10,6 heures par jour en août. La moyenne annuelle est estimée à environ 8,6 heures par jour, ce qui reflète une forte disponibilité du rayonnement solaire dans cette zone.

#### **I.1.4. Ressources naturelles**

##### **I.1.4.1. Ressources en sol**

Selon Hamdi-Aïssa et Girard (2000) (in Karabi, 2016), il s'agit d'un pédopaysage sableux à sable grossier, avec graviers et calcaire. Le sol présente une dominance sableuse, pauvre en matière organique, et faiblement accumulé en éléments gypso-salins.

##### **I.1.4.2. Ressources en eau**

La région de Ouargla, bien qu'aride et caractérisée par une faible pluviométrie, dispose d'un potentiel considérable en eaux souterraines. Selon les études hydrogéologiques de Rouvillois-Brigol (1975), ces ressources sont réparties en plusieurs couches principales, qui diffèrent par leur profondeur, la qualité de l'eau et leur niveau d'exploitation. Ces couches sont décrites comme suit :

##### **a) La nappe phréatique (superficielle)**

Classée parmi les eaux libres, cette nappe est localisée dans les formations alluviales sableuses de l'Oued Righ ainsi que dans la dépression de Ouargla. L'écoulement s'effectue selon la pente naturelle du terrain, du sud vers le nord. Sa profondeur varie généralement entre 1 et 8 mètres selon les saisons et les zones. Elle se caractérise par une forte salinité, avec une conductivité électrique allant de 5 à 10 dS/m, et pouvant dépasser localement les 20 dS/m, ce qui limite fortement sa valorisation. La température de ses eaux varie entre 15°C et 20°C. (ANRH, 1994)

**b) La nappe du Mio-Pliocène**

Cet aquifère, appartenant au complexe terminal, représente la principale source d'eau exploitée dans la région. Il s'écoule du sud et sud-ouest vers le nord et nord-est, en direction du chott Melghir. Sa profondeur se situe entre 60 et 200 mètres, avec une température des eaux de l'ordre de 23°C à 25°C, et une salinité variante entre 1,89 et 4,60 g/l, ce qui le rend adapté à l'irrigation, notamment dans les palmeraies (MOULIAS, 1927).

**c) La nappe sénonienne**

Peu documentée, cette nappe fait l'objet d'une exploitation limitée en raison de la faible productivité de ses forages. Sa température en surface avoisine les 30°C, et sa profondeur varie généralement entre 140 et 200 mètres (CASTANY, 1982).

**d) Continental Intercalaire (nappe albienne)**

D'après les données de l'ANRH (2011), cette nappe profonde est contenue dans des formations de grès et d'argiles sableuses, et couvre une superficie d'environ 600 000 km<sup>2</sup>.

Elle se situe entre 800 et 1700 mètres de profondeur, avec un écoulement général du sud vers le nord. Les eaux de cette nappe sont nettement plus chaudes (environ 56°C), avec une salinité relativement faible, variant entre 1,7 et 2 g/l.

## I.2. Protocol expérimental

### I.2.1. Choix du site expérimental

L'essai a été réalisé au niveau de la commune de Hassi Ben Abdellah, dans la wilaya de Ouargla, au sein de l'exploitation agricole « La ferme modèle Ben El-Saih Mohamed ». Cette étude a été menée durant la campagne agricole 2024/2025. Le site expérimental est situé le long de la route nationale N56, à environ 55 km au nord-est du chef-lieu de la wilaya de Ouargla. Il se trouve aux coordonnées géographiques suivantes : latitude : 32° 10' 05" N, longitude : 5° 39' 23" E (soit en décimal : 32.1681 N, 5.6564 E), avec une altitude estimée à environ 141 mètres au-dessus du niveau de la mer.

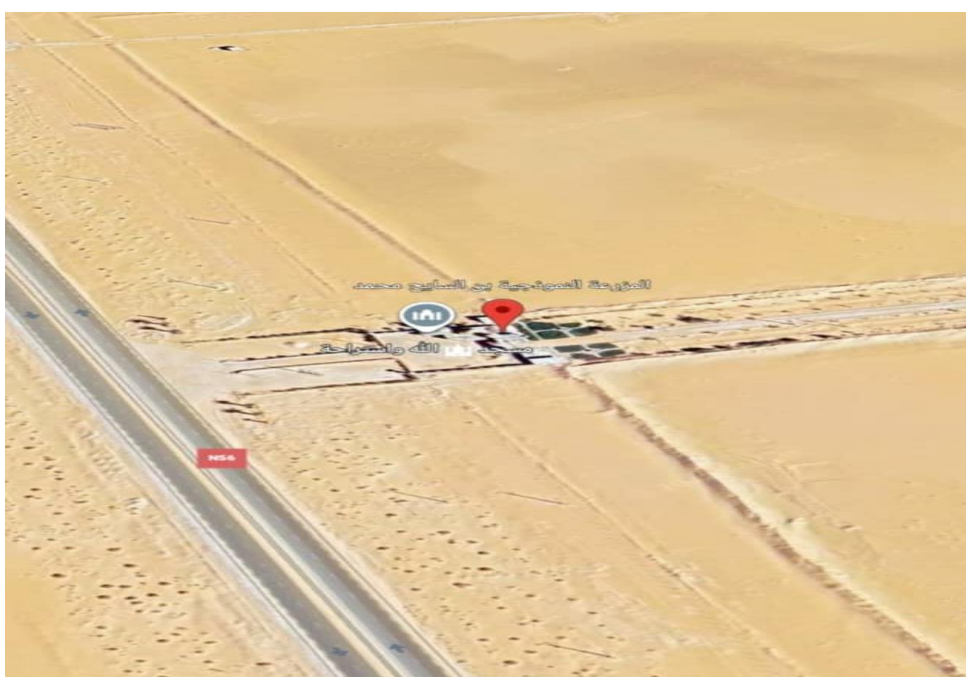


Figure 3: Localisation géographique de la zone d'étude (Google Earth)

### I.2.2. Caractéristiques physico-chimiques du sol

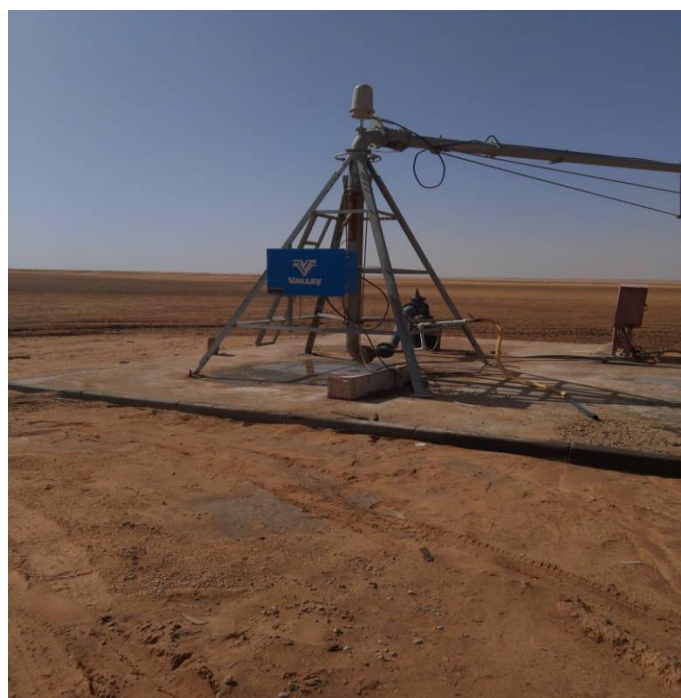
Afin de déterminer certaines caractéristiques physico-chimiques du sol du champ expérimental, des analyses ont été réalisées en laboratoire. Les échantillons de sol étudiés ont été prélevés à l'aide d'une tarière, avant et après le semis, à deux profondeurs : 0–30 cm et 30–50 cm. Parmi les analyses effectuées, la teneur en azote total a été déterminée selon la méthode de Kjeldahl. Les résultats obtenus sont présentés dans la section résultats et discussion.

### I.2.3. Système d'irrigation et caractéristiques physico-chimiques de l'eau d'irrigation

L'irrigation au sein de l'exploitation est assurée par centre pivot de type Valley, fonctionnant avec un débit de 5 mm à une vitesse de rotation de 100%, conformément dans la fiche technique de pivot.

Afin de déterminer les caractéristiques physiques et chimiques de l'eau d'irrigation, des analyses physico-chimiques ont été réalisées, comprenant la mesure de la conductivité électrique (CE) et du pH au niveau du laboratoire de la faculté.

Les résultats obtenus ont été présentés et discutés dans la partie résultats et discussion.



**Photo 1: Système d'irrigation par pivot**

### I.2.4. Matériel végétal

Le matériel végétal utilisé est un blé dur (*Triticum durum* Desf.), variété Vitron R2 2024.

Les semences ont été fournies par la CCLS (Coopérative des Céréales et des Légumes Secs).

### I.2.5. Dispositif expérimental

On a testé un biostimulant de nouvelle génération composé de trois formulations : le composé minéral organique (A), le composé organique liquide (B) et le stimulant immunitaire renforcé (B1+).

Ces formulations, riches en éléments minéraux (NPK), acides aminés, humâtes, vitamines et substances bioactives, permettent de stimuler la croissance végétative, de renforcer le système immunitaire des plantes en conditions de stress et d'améliorer l'absorption des nutriments.

Elles contribuent également à réduire l'usage des engrais et pesticides conventionnels en optimisant les fonctions physiologiques de la plante tout au long de son développement.

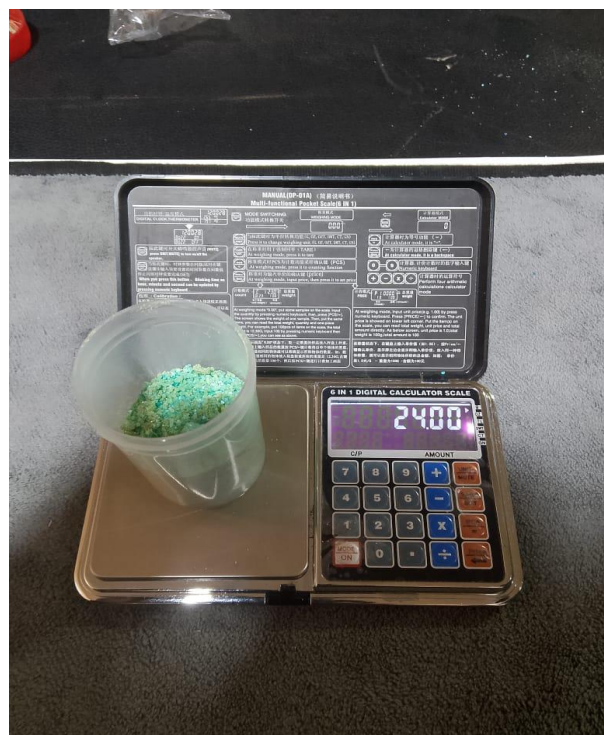
**Tableau 4 : Calendrier des applications foliaires et doses des produits utilisés selon les stades de croissance de la culture**

| N° | Date d'application | Traitement | Produit                                                       | Dose                       | Stade phénologique       |
|----|--------------------|------------|---------------------------------------------------------------|----------------------------|--------------------------|
| 1  | 17/02/2025         | 01         | 1. Mark A Dry OMU<br>2. Mark B Liquide OU<br>3. Mark B-1 Plus | 1kg\ha<br>2kg\ha<br>20g\ha | Stade pré tallage        |
|    |                    | 02         | 1. Mark A Dry OMU<br>2. Mark B Liquide OU<br>3. Mark B-1 Plus | 2Kg\ha<br>3Kg\ha<br>20g\ha |                          |
| 2  | 26/02/2025         | 01         | 1. Mark A Dry OMU<br>2. Mark B Liquide OU<br>3. Mark B-1 Plus | 1Kg\ha<br>2Kg\ha<br>20g\ha | Plein tallage            |
|    |                    | 02         | 1. Mark A Dry OMU<br>2. Mark B Liquide OU<br>3. Mark B-1 Plus | 2Kg\ha<br>3Kg\ha<br>20g\ha |                          |
| 3  | 10/04/2025         | 01         | 1. Mark A Dry OMU<br>2. Mark B Liquide OU<br>3. Mark B-1 Plus | 2Kg\ha<br>4Kg\ha<br>40g\ha | Stade formation du grain |
|    |                    | 02         | 1. Mark A Dry OMU<br>2. Mark B Liquide OU<br>3. Mark B-1 Plus | 4Kg\ha<br>6Kg\ha<br>40g\ha |                          |



### ➤ Application des biostimulants

Le traitement a été effectué par pulvérisation foliaire à l'aide d'un pulvérisateur à dos d'une capacité de 16 litres. Un volume constant de 16 litres de solution a été utilisé pour chaque bloc. Les quantités recommandées ont été préparées conformément au tableau 4, qui précise également les dates de traitement et le stade phénologique conseillé pour l'application.



**Photo 2. Préparation des doses du biostimulant**

- **Dispositif expérimental** : blocs complètement randomisés (PBCR), à un seul facteur étudié (doses de biostimulants)
- **Nombre de blocs** : 9 Blocs, Chaque bloc présentes les trois traitements (D0, D1 et D2)
- **Unité expérimentale** : Une parcelle de 15 m<sup>2</sup> sur une superficie totale de 405 m<sup>2</sup> de la surface globale du champ.
- **Facteur étudié** : Biostimulant foliaire
- **Niveau** : Trois doses (D0, D1 et D2)

**D0 =T 0 : Témoin (parcelle non traité)**

**T01** : Dose minimale

**T02** : Dose maximale



Les traitements ont été appliqués sur une superficie totale de 405 m<sup>2</sup> de la surface globale du champ. Les dimensions sont présentées dans le schéma du dispositif expérimental.

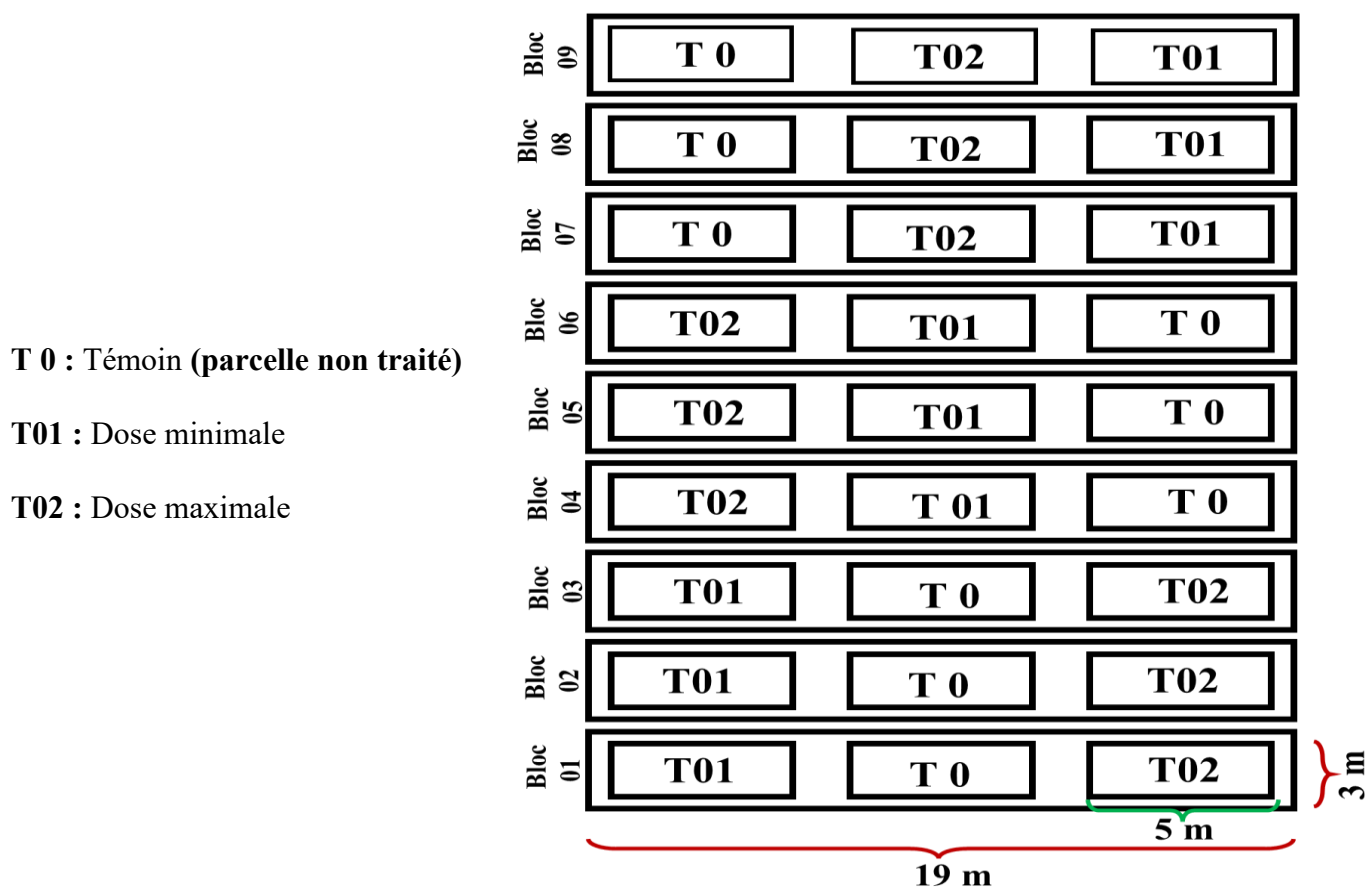


Figure 4. Dispositif expérimental.



Photo 3. Procédure d'application des traitements

## 1.2.6. Itinéraire technique et conditions de déroulement de l'essai

### 1.2.5.1. Précédent cultural

La parcelle expérimentale est mise en culture pour la première fois campagne 2024/2025.

### 1.2.5.2. Tests de germination

Cent (100) graines de la variété Vitron ont été placées dans quatre boîtes de Pétri, à raison de 25 graines par boîte. Chaque boîte a été tapissée de deux couches de papier filtre, puis hermétiquement refermée et placée dans une étuve à 25°C comme l'illustre la photo (4).



**Photo 4. Test de germination**

### 1.2.5.3. Pré-irrigation

L'opération de pré-irrigation a été réalisée le 05 janvier 2025. Cette intervention vise à préparer le sol avant les travaux de labour et de semis, en assurant une humidité initiale suffisante.

Elle permet d'améliorer la structure du sol, de favoriser la germination des graines, et de garantir un démarrage homogène de la culture prévue, en créant des conditions optimales pour l'émergence et le développement précoce des plantes.

#### **1.2.5.4. Travail du sol**

Le travail a consisté en un passage d'un cultivateur à dents, équipé d'un rouleau niveleur pour aplanir la surface du sol et préparer le lit de semence, ce qui correspond à un labour superficiel visant uniquement à préparer la parcelle pour l'ensemencement.

Cette opération a été réalisée le 6 janvier 2025, soit un jour avant le semis



**Figure 5. Cultivateur à dents équipé d'un rouleau utilisé pour le travail du sol**

#### **1.2.5.5. Semis**

Le semis de la variété de blé dur "Vitron R2" a été effectué le 7 janvier 2025 à l'aide d'un semoir combiné, tracté par un tracteur. Le semis a été réalisé à une profondeur de 3 cm et une dose de 2,4 quintaux par hectare.





Photo 5. Semoir combiné utilisé pour le semis

#### 1.2.5.6. Suivi de la fertilisation et de l'irrigation

##### a) La fertilisation

Dans le cadre des pratiques agricoles adoptées en zones sahariennes, notamment pour la culture des céréales, la fertilisation se concentre sur l'apport des éléments minéraux essentiels à la croissance. Les engrais utilisés dans ce contexte sont les suivants :

- **Weatfert** : engrais de type NPK (8-36-15), utilisé comme engrais de fond, riche en phosphore (36 %) ; azote (8 %), potassium (15 %) et soufre (13 %) ; la dose appliquée est de 263 kg/ha.
- **Startsul** : engrais de démarrage de type NPK (13-42-10), contenant azote (13 %), phosphore (42 %), potassium (10 %), ainsi que magnésium (1 %) et soufre (2 %) ; dose appliquée : 36 kg/ha.
- **Finalsol** : engrais de finition de type NPK (7-4-40), favorise le remplissage des grains grâce à sa richesse en potassium (40 %), en plus de l'azote (7 %), phosphore (4 %) et soufre (35 %) ; dose appliquée : 135 kg/ha.

- **Azosul** : engrais azoté-soufré, riche en azote (34 %) et en soufre (29 %), utilisé pour stimuler la croissance végétative ; dose appliquée : 168 kg/ha.
  - **Urée 46** : engrais azoté très concentré contenant 46 % d'azote, à libération rapide, utilisé pour couvrir les besoins azotés à différents stades ; dose appliquée : 63 kg/ha.
  - **Humax** : biostimulant à base d'acides humiques et fulviques, contenant de faibles proportions de N (3 %), P (0,8 %) et K (6 %), améliore la fertilité du sol et l'absorption des éléments nutritifs ; dose appliquée : 37 L/ha.
  - **Tradecourp** : mélange d'oligo-éléments de type KSC, composé de fer (5 %), zinc (2,48 %), manganèse (3,5 %), cuivre (1 %), bore (0,65 %) et molybdène (0,3 %), utilisé pour corriger les carences en éléments traces ; dose appliquée : 1 L/ha.
  - **Fertyfer + MO** : solution correctrice très concentrée en fer (20 %) et zinc (6 %), recommandée pour les sols calcaires ou en cas de carences sévères ; dose appliquée : 1 L/ha.
- ➔ Le programme détaillé de fertilisation par éléments majeurs selon les stades de développement de la culture de blé dur (*Triticum durum* Desf.) est présenté en annexe 4."

## b) L'irrigation

Pour déterminer les apports en eau, les calculs ont été effectués en tenant compte des opérations réellement appliquées durant la campagne agricole, notamment le débit réel de l'eau, les heures de fonctionnement, la vitesse de rotation du pivot et les périodes d'arrêt d'irrigation, tout en prenant en considération les pannes techniques. Les quantités d'eau appliquées à chaque stade phénologique ont été enregistrées et sont présentées dans le partie résultats et discussion.

### 1.2.5.7. Traitements phytosanitaires

Le traitement préventif contre les principales maladies cryptogamiques a été réalisé le 27 février 2025 par la pulvérisation d'un fongicide Amistar Xtra, contenant deux matières actives : Azoxystrobine (200 g/L) et Cyproconazole (80 g/L), pour la protection des céréales d'hiver contre les maladies fongiques foliaires telles que la rouille jaune et brune, la septoriose, l'oïdium et la rhynchosporiose. La dose appliquée était de 1 L/ha (soit 200 g d'azoxystrobine + 80 g de cyproconazole par ha), et a été pulvérisée à la fin du tallage et au début de la montaison.



#### 1.2.5.8. Récolte

L'arrêt d'irrigation a eu lieu le 29/04/2025. La récolte de nos échantillons a été effectuée manuellement le 05/05/2025.



**Photo 6. Opération de récolte manuelle**

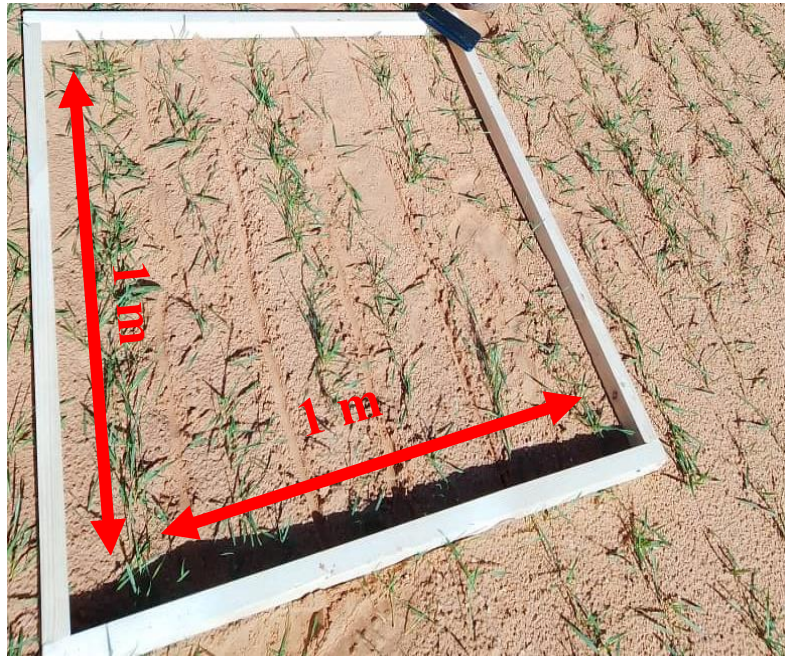
#### 1.2.7. Paramètres étudiés

##### 1.2.6.1. Paramètres phénologiques

Les stades phénologiques du blé ont été suivis tout au long de la campagne agricole 2024/2025 afin d'évaluer son développement. Le semis a eu lieu le 07 janvier 2025, et un suivi régulier a permis d'enregistrer les dates de début de chaque phase de croissance ainsi que le nombre de jours écoulés depuis la date de semis pour chaque phase.

##### 1.2.6.2. Composantes du rendement

Pour chaque traitement, les mesures ont été effectuées sur une surface d'un (1) mètre carré, à l'aide d'un cadre en bois de même surface, avec plusieurs répétitions pour chaque paramètre. Les paramètres mesurés sont les suivants :



**Photo 7. Cadre en bois utilisé pour le prélèvement des échantillons**

#### **1.2.6.2.a. Densité des plantes (plants/m<sup>2</sup>)**

Le nombre de plantes a été déterminé au stade 2–3 feuilles à l’aide d’un cadre en bois de 1 m<sup>2</sup>. Huit répétitions ont été réalisées par traitement. La moyenne arithmétique a été calculée.



*Photo 8. Stade 2–3 feuilles du blé dur, observé sur le terrain expérimental*



#### 1.2.6.2.b. Peuplement épis (épis/m<sup>2</sup>)

Le comptage des épis a été effectué au stade de maturité physiologique à l'aide d'un cadre en bois de 1 m<sup>2</sup>, avec huit répétitions par traitement. La moyenne a ensuite été calculée.



*Photo 10.Épis de blé dur au stade de maturité physiologique*

#### 1.2.6.2.c. Nombre moyen de grains par épi

Un échantillon aléatoire de 15 épis par traitement a été prélevé. Le nombre de grains a été compté manuellement pour chaque épi, puis la moyenne a été calculée.

#### 1.2.6.2.d. Nombre moyen d'épillets par épi

Les mêmes épis ont été utilisés pour compter le nombre d'épillets. La moyenne a été déterminée pour chaque traitement

#### 1.2.6.2.e. Poids de mille grains (PMG – en grammes)

Un échantillon de 1000 grains a été pesé pour chaque traitement à l'aide d'une balance électronique de précision. Le poids a été exprimé en grammes.





**Photo 11. Mesure du poids de mille grains (PMG)**

#### **1.2.6.2.f. Rendement en grains**

Selon PREVOST (1999), la détermination du rendement en grains est obtenue par la relation Suivante :

$$\text{RDT Grains (g/m}^2\text{)} = \frac{\text{Epis/m}^2 \times \text{Grains/épi} \times \text{PMG}}{1000}$$

### **1.2.6.3. Paramètres de croissance**

#### **1.2.6.3.a. Rendement en biomasse (tiges + épis)**

Sur les mêmes échantillons prélevés sur une surface d'un mètre carré, avec huit répétitions par traitement, nous avons pesé les échantillons (tiges + épis) après les avoir séchés dans une étuve à 85 °C pendant 24 heures.



**Photo 12. Opération de séchage des échantillons de blé dans l'étuve**

#### **1.2.6.3.b. Longueur de l'épi (cm)**

La longueur de l'épi a été mesurée à l'aide d'une règle graduée, de la base jusqu'à l'extrémité, sur 15 épis sélectionnés aléatoirement. La moyenne a ensuite été calculée.

#### **1.2.6.3.c. Hauteur de la tige (cm)**

La longueur de la tige a été mesurée depuis la base de la plante jusqu'au point d'insertion de l'épi, sur les mêmes échantillons.

#### **1.2.6.3.d. Hauteur totale de la plante (cm)**

La hauteur totale de la plante (de la base jusqu'au sommet de l'épi) a été mesurée sur les mêmes 15 plantes par traitement. La moyenne a été calculée.

#### **1.2.6.4. Teneur en azote total des grains**

La teneur en azote total a été déterminée uniquement dans les grains récoltés. Des échantillons de grains ont été prélevés pour chaque traitement et analysés par la méthode de Kjeldahl afin de quantifier la concentration d'azote dans les grains.

#### **1.2.6.5. Analyse statistique**

L'analyse de la variance à un seul critère de classification a été réalisée à l'aide du logiciel XLSTAT. En cas de différence significative entre les traitements, une comparaison des moyennes a été faite au seuil de probabilité 5%.

# **Chapitre II : Résultats**

## **Et discussion**

## II. Résultats et discussions

### II.1. Caractéristiques physico-chimiques du sol

Après avoir effectué les analyses physico-chimiques, et le test de détermination de la teneur en azote total selon la méthode de Kjeldahl, sur les échantillons prélevés sur le site de l'étude, un ensemble de données a été obtenu permettant d'évaluer les caractéristiques du sol et son aptitude à la culture.

**Tableau 5: Résultats d'analyses physico-chimique du sol**

| Paramètres                            |                                 | Unité | Avant mise en place de la culture |          | Stade maturité |          |
|---------------------------------------|---------------------------------|-------|-----------------------------------|----------|----------------|----------|
|                                       |                                 |       | 0–30 cm                           | 30–50 cm | 0–30 cm        | 30–50 cm |
| pH (25°C)                             |                                 | -     | 8,44                              | 8,23     | 8,23           | 8,24     |
| Conductivité électrique (dS/m) à 25°C |                                 | dS/m  | 0,148                             | 0,256    | 0,377          | 0,52     |
| Azote (N) %                           |                                 | %     | /                                 | /        | 0,042          | 0,014    |
| Granulométrie (0-50 cm)               | Sable très grossier (2–1 mm)    |       | 4,07                              |          |                |          |
|                                       | Sable grossier (1–0,2 mm)       |       | 27,58                             |          |                |          |
|                                       | Total sable grossier (2–0,2 mm) |       | 31,65                             |          |                |          |
|                                       | Sable fin (0,2–0,1 mm)          |       | 27,04                             |          |                |          |
|                                       | Sable très fin (0,1–0,045 mm)   |       | 36,93                             |          |                |          |
|                                       | Total sable fin (0,2–0,045 mm)  |       | 63,97                             |          |                |          |
|                                       | Total sable (2–0,045 mm)        |       | 95,62                             |          |                |          |
|                                       | Limons et argiles (< 0,045 mm)  |       | 3,9                               |          |                |          |

#### II.1.1. Le pH :

Les valeurs du pH mesurées varient entre 8,23 et 8,44. Le sol non cultivé présente un pH plus élevé en surface (8,44) par rapport au sol cultivé (8,23). En profondeur (30–50 cm), les deux sols présentent des valeurs proches : 8,24 pour le sol cultivé et 8,23 pour le sol non cultivé. Ces résultats sont en accord avec ceux rapportés par **Karabi (2016)** dans son étude sur les sols oasiens

de la région de Ouargla, où des pH alcalins supérieurs à 8 sont fréquemment observés, notamment en surface.

### **II.1.2. La conductivité électrique :**

Les valeurs de la conductivité électrique varient entre 0,148 et 0,52 dS/m. Le sol cultivé présente des valeurs plus élevées (de 0,377 à 0,52 dS/m) que le sol non cultivé (de 0,148 à 0,256 dS/m), aussi bien en surface qu'en profondeur.

Ces résultats s'inscrivent dans les plages rapportées par Karabi (2016), qui a observé, dans les sols oasiens de la région de Ouargla, des conductivités électriques variant généralement entre 0,2 et 1,5 dS/m, en fonction de la profondeur et de l'usage agricole du sol.

### **II.1.3. La teneur en azote total (N) :**

Les analyses ont révélé que la teneur en azote total (N) dans la couche superficielle du sol est de 0,042 %, tandis qu'elle est nettement plus faible dans la couche profonde, avec une valeur de 0,014 %. Cela indique une concentration plus élevée de l'azote dans la partie supérieure du sol par rapport à la partie inférieure.

Des études telles que Zhang et al. (2020) montrent que l'accumulation lente de la matière organique dans les couches superficielles, combinée aux conditions climatiques arides qui limitent l'activité de décomposition microbienne, conduit à une concentration plus élevée d'azote dans ces couches.

Selon Batjes (2019), la teneur en azote total dans les sols arides varie généralement entre 0,01 % et 0,05 %, influencée par le niveau de matière organique, l'activité microbienne et les pratiques agricoles. Ces valeurs sont cohérentes avec celles observées dans la zone étudiée, reflétant les caractéristiques pédologiques et biochimiques typiques des sols désertiques.

### **II.1.4. L'analyse granulométrique**

Les résultats de l'analyse granulométrique (Tableau 5) de l'échantillon prélevé dans la région d'étude (Hassi Ben Abdallah wilaya de Ouargla) révèlent une texture sableuse marquée, avec un taux de sable total de 95,62 %, réparti entre sable grossier (31,65 %) et sable fin (63,97 %). La fraction des éléments fins (limon et argile) ne représente que 3,9 %, ce qui confirme la dominance de matériaux grossiers dans cette zone. Ces caractéristiques concordent avec les conclusions de Karabi (2016), qui a montré

que les sols oasiens de la région de Ouargla présentent généralement une texture sableuse, pauvre en matière organique et en éléments fins, avec un faible capacité d'échange cationique et une forte perméabilité.

#### II.1.5. Évolution du pH et de la conductivité électrique (dS/m) du sol selon la profondeur, avant et après la mise en culture

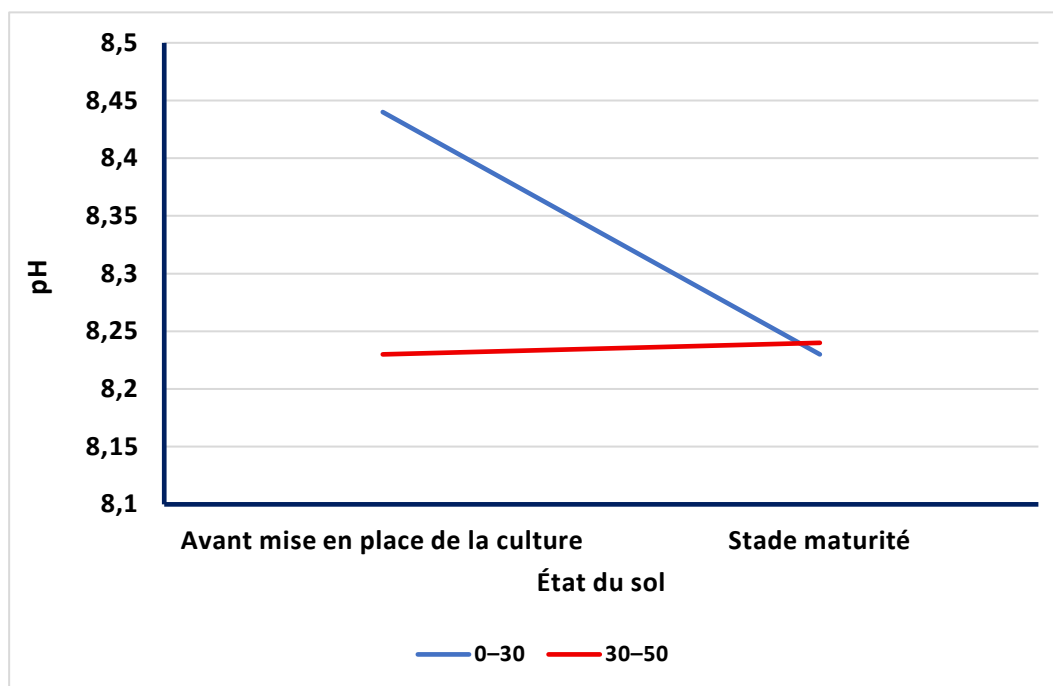


Figure 6. Évolution du pH du sol en fonction de la profondeur avant et après la culture

La figure (07) représente l'évolution des valeurs du pH du sol en fonction de la profondeur, avant et après la culture. On observe une légère diminution du pH dans la couche superficielle (0–30 cm) après la culture, ce qui pourrait être attribué à l'activité biologique des racines ou à la décomposition de la matière organique. En revanche, les valeurs du pH restent pratiquement stables en profondeur (30–50 cm), indiquant un impact limité de la culture sur l'acidité dans les couches plus profondes.

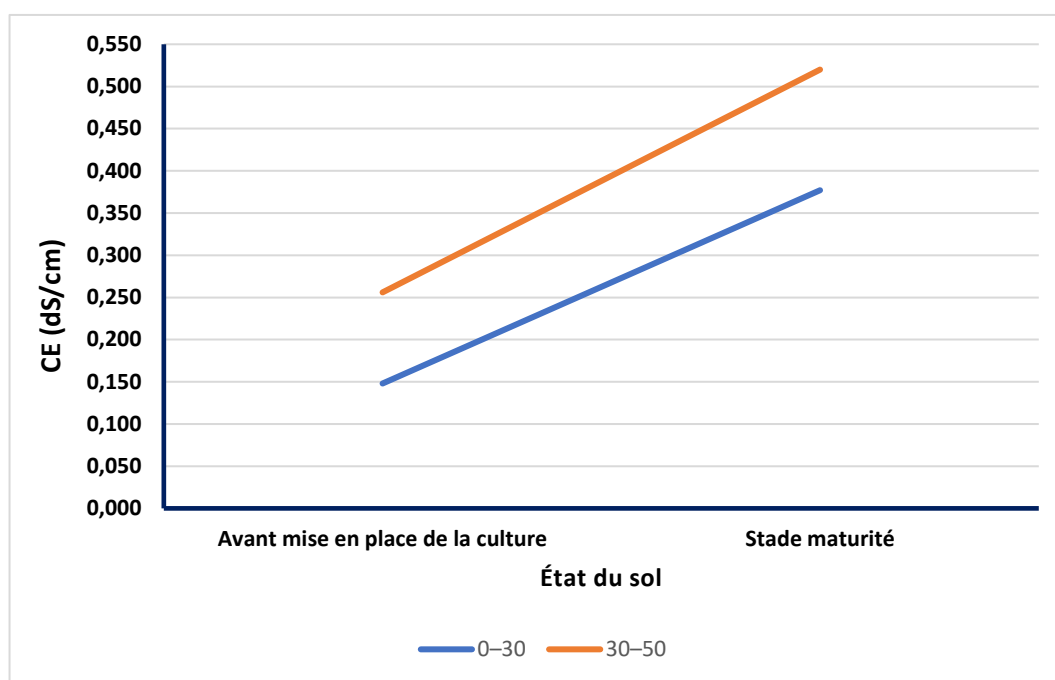


Figure 7. Évolution de la conductivité électrique (dS/cm) du sol en fonction de la profondeur avant et après la culture

La figure (08) représente l'évolution des valeurs de la conductivité électrique (CE) du sol en fonction de la profondeur avant et après la culture. Les résultats montrent une augmentation des valeurs de la CE après la culture dans les deux couches (0–30 cm et 30–50 cm), ce qui indique une hausse de la concentration en sels solubles.

## II.2. Caractéristiques physico-chimiques de l'eau d'irrigation

À partir du tableau (7) présentant les résultats de l'analyse de l'eau utilisée pour l'irrigation dans la zone d'étude, il a été observé que la valeur du pH à 25°C est de 7,57.

Tableau 6: Résultats de l'analyse physico-chimique de l'eau d'irrigation (pH et CE à 25°C)

| Paramètre | pH (25°C) | Conductivité électrique (dS/m, 25°C) |
|-----------|-----------|--------------------------------------|
| Eau       | 7,57      | 5,59                                 |

Cette valeur indique une légère alcalinité de l'eau, ce qui est conforme aux résultats de l'étude de Karabi (2016) qui a enregistré des valeurs de pH comprises entre 7,2 et 8,1 dans les eaux des oasis de Ouargla.



Concernant la conductivité électrique (CE), une valeur de 5,59 dS/m a été mesurée, reflétant une concentration saline moyenne à élever. Cette valeur est cohérente avec celle rapportée par Benyahia et al. (2013), qui ont trouvé des valeurs comprises entre 3,5 et 6,2 dS/m pour les eaux d'irrigation de la région.

Les analyses physico-chimiques des eaux souterraines provenant des forages F30, F31 et F32 à Hassi Ben Abdallah, effectuées par l'ANRH en 2014 (citées par KHARROUBI, 2017), montrent des valeurs élevées de conductivité électrique ainsi qu'un pH légèrement alcalin, caractéristiques des eaux de la nappe du Complexe Terminal. La conductivité électrique enregistrée est de 7,496 mS/cm pour F30, 5,332 mS/cm pour F31 et 5,34 mS/cm pour F32. Le pH varie entre 7,77 et 8,27.

### **II.3. Résultats obtenus pour les différents paramètres étudiés**

#### **II.3.1. Résultats du test de germination des graines de blé dur variété Vitron**

Après avoir terminé le test de germination, le taux de germination a atteint 82 % après sept jours d'incubation, sur un total de 100 graines testées, 82 ont germé, ce qui donne un taux de germination de 82 %.

Ce taux est légèrement inférieur au seuil minimum acceptable, qui est de 85 %, selon les normes de l'International Seed Testing Association (ISTA, 2023).

### II.3.2. Suivi des stades phénologiques du blé durant la campagne

Les stades phénologiques du blé dur dans la région de Ouargla ont été observés sur la base d'un suivi de terrain rigoureux tout au long du cycle végétatif. Les durées présentées dans la figure (9) résultent d'observations réelles effectuées sur le terrain.

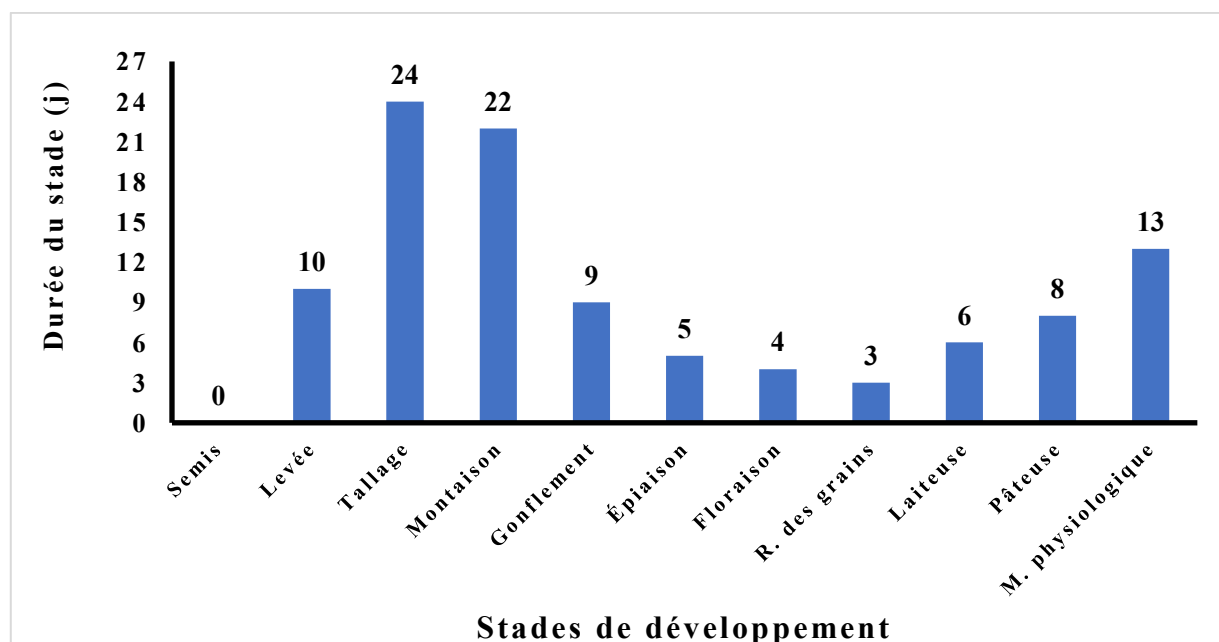


Figure 8. Durée des stades phénologiques du blé dur (*Triticum durum* Desf.)

Le stade du tallage, qui a débuté le 10 février, a duré environ 20 jours. Cela est conforme aux indications de Slafer et Rawson (1994), qui signalent que cette phase dure généralement entre 15 et 25 jours dans les conditions semi-arides.

Concernant le stade de la montaison, il a commencé début mars, soit 56 jours après le semis.

Ce résultat correspond également aux travaux de Slafer et Rawson (1994), selon lesquels ce stade débute généralement vers la fin du deuxième mois après le semis.

Le stade du gonflement et de l'épiaison a commencé le 13 mars et n'a duré que 14 jours, soit environ 70 jours après le semis. D'après l'INRA (2010), cette phase se produit habituellement entre 60 et 75 jours après le semis dans des conditions climatiques sèches.

Quant à la floraison, observée le 22 mars, les études telles que celles menées par Slafer et al. (2005) indiquent que ce stade intervient généralement après 70 jours dans les zones chaudes ou semi-arides, ce qui correspond à nos observations.

Le stade du remplissage des grains, qui dure entre 20 et 25 jours selon Bennaceur et al. (2014), a été clairement observé à partir de la mi-avril, ce qui est cohérent avec les données scientifiques relatives au développement des cultures en climat chaud.

En ce qui concerne les stades grain laiteux et grain pâteux (Milk et Dough Stages), les études montrent qu'ils surviennent après la floraison et durent généralement environ 30 jours dans les régions semi-arides, comme indiqué dans les travaux de l'INRA (2010) sur le blé dur.

### II.3.3. Effet des biostimulants sur les composantes du rendement

#### II.3.3.1. Densité des plantes (plants/m<sup>2</sup>)

Après avoir procédé au calcul de la densité des plantes par mètre carré pour les différents traitements, les résultats obtenus sont présentés dans la figure (10).

L'analyse de variance du nombre de plants/m<sup>2</sup> a montré des différences non significatives entre les différentes parcelles (Annexe 3).

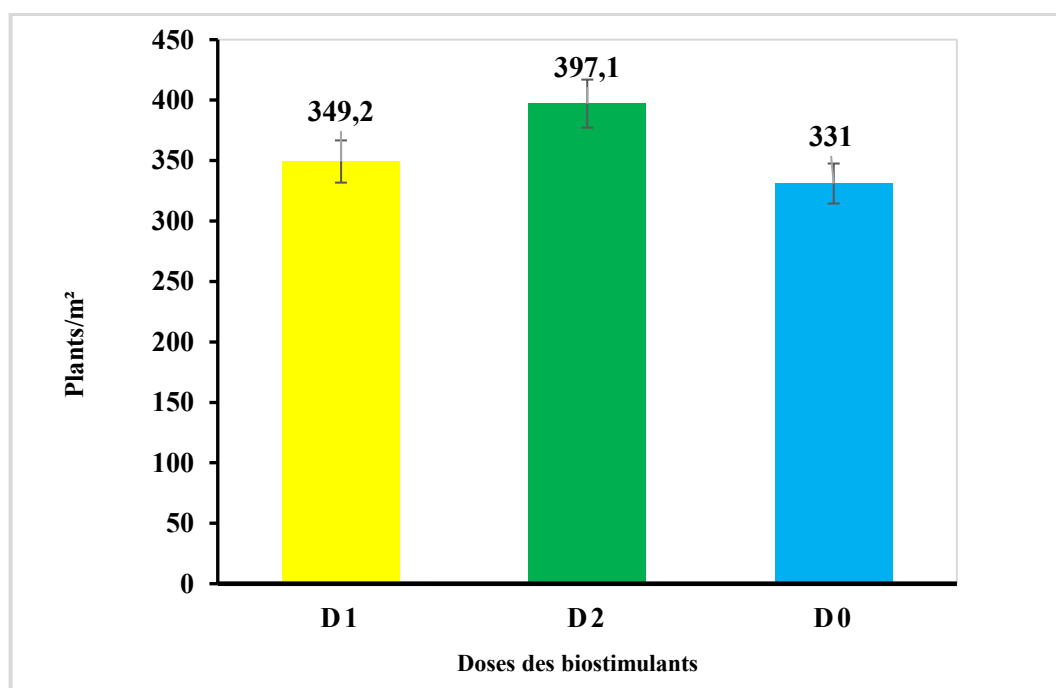


Figure 9. Variation de la densité de peuplement (plants/m<sup>2</sup>)

Les mesures de densité des plantes (plants/m<sup>2</sup>) avant l'application des stimulateurs montrent une variation claire entre les trois traitements D1, D2 et D0. La densité moyenne la plus élevée a été observée dans le traitement D2 avec 397,1 plantes/m<sup>2</sup>, suivi du traitement D1 avec une moyenne de 349,2 plantes/m<sup>2</sup>, puis du traitement D0 avec une moyenne de 331 plantes/m<sup>2</sup>.

La densité des plantes est un facteur clé influençant le rendement du blé dur et dépend de multiples facteurs environnementaux et agronomiques. Briber (2024) souligne que le stress hydrique dans les zones semi-arides réduit le taux de germination et la densité des plantes. De plus, l'étude de Bastos et al. (2020) indique qu'une augmentation du taux de semis augmente la densité initiale, et que les variétés à fort potentiel de tallage peuvent compenser une faible densité.

Enfin, Abd El-Wahed et Mohamed (2021) montrent que des densités élevées dans des conditions d'irrigation complémentaire peuvent engendrer une compétition pour l'eau et la lumière, réduisant ainsi la densité finale des plantes. Il est donc essentiel de trouver un équilibre adapté de la densité pour optimiser la productivité dans ces conditions.

### II.3.3.2. Peuplement épis (épis/m<sup>2</sup>)

L'analyse de la variance (ANOVA) n'a pas révélé de différence significative entre les doses de biostimulants appliquées ( $F = 0,290$  ;  $p = 0,751$ ) (Annexe 03). Le test de comparaison multiple de Tukey (HSD) confirme cette absence de différence significative entre les modalités D1, D2 et D0, toutes appartenant au même groupe statistique (lettre A). Par conséquent, les différentes doses de biostimulants testées n'ont pas eu d'effet significatif sur le nombre d'épis par mètre carré dans les conditions de l'essai.

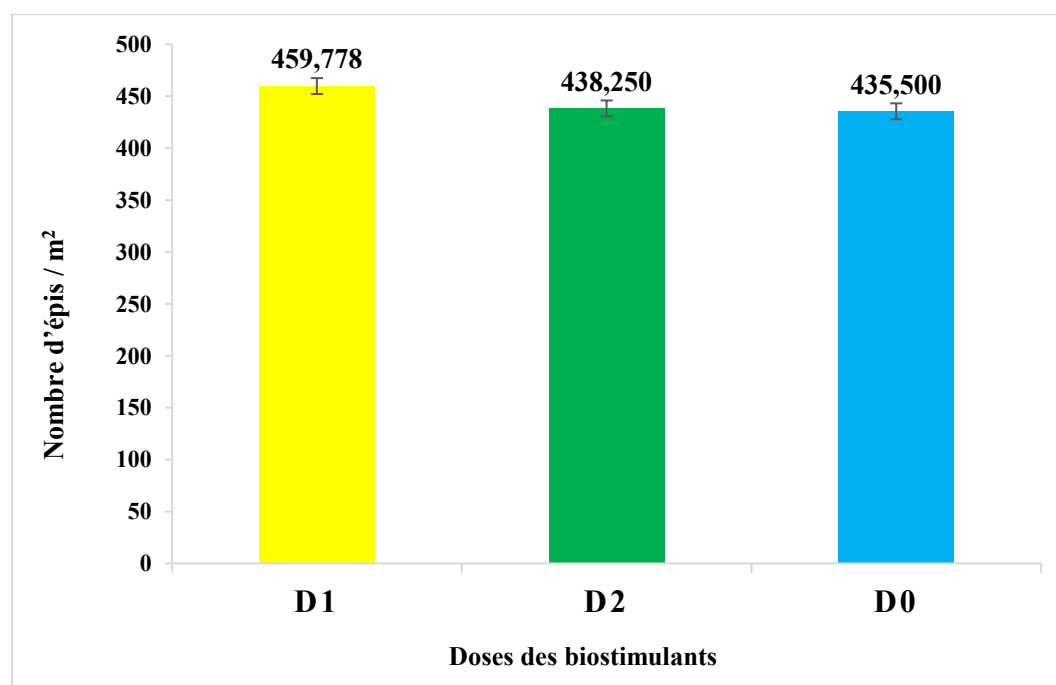


Figure 10. Variation du nombre d'épis/m<sup>2</sup> en fonction des doses de biostimulants

Ces résultats concordent avec ceux obtenus dans les Hautes Plaines de Sétif, où Benmahammed et al. (2015) ont montré que la densité des épis est principalement influencée par les facteurs environnementaux tels que la disponibilité en eau et la densité de semis.

De plus, Fellahi et al. (2014) ont souligné que la variabilité phénotypique chez les variétés locales de blé dur est largement déterminée par des facteurs génétiques et climatiques, et que la densité des épis est peu affectée par des traitements chimiques ou biologiques.

La figure 11 montre que la meilleur peuplement-épis est obtenu au niveau du traitement D1, avec 459,7 épis/m<sup>2</sup>, suivi par les traitements D2 (438,2 épis/m<sup>2</sup>) et D0 (435,5 épis/m<sup>2</sup>) consécutivement.

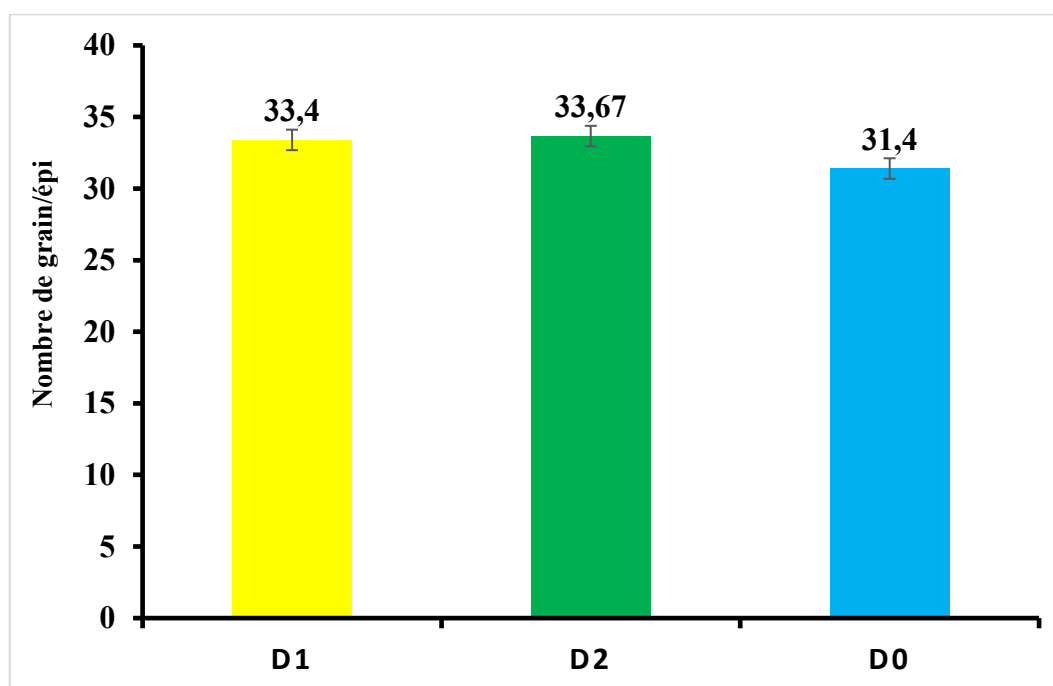
#### **II.3.3.3. Nombre moyen de grains par épi**

Les statistiques descriptives révèlent une moyenne générale de 32,82 grains par épi, avec un écart-type de 5,61, indiquant une variabilité modérée au sein des données (Annexe 03).

La dose D1 se distingue par une large dispersion des valeurs, allant de 23 à 49 grains, avec plusieurs cas dépassant les 35 grains. Cette diversité de réponses pourrait traduire un effet positif potentiel sur le rendement, bien que les réactions des plantes demeurent hétérogènes.

En comparaison, la dose D2 présente des résultats plus homogènes, concentrés entre 30 et 37 grains. Cette stabilité suggère une réponse plus régulière et probablement plus efficiente.

Quant au témoin D0, non traité, il enregistre des valeurs généralement plus faibles et plus dispersées, comprises entre 20 et 43 grains par épi, ce qui reflète la performance naturelle des plantes en l'absence de tout apport biostimulant.



**Figure 11. Variation nombre de grains par épi en fonction des doses des biostimulants**

Ces résultats suggèrent que l'application de biostimulants, notamment à la dose D2, pourrait favoriser l'amélioration du nombre de grains par épi, en offrant une réponse plus régulière et contrôlée. En revanche, la forte variabilité observée avec la dose D1 pourrait être due à d'autres facteurs externes ou à la sensibilité individuelle des plantes au traitement.

Ces observations rejoignent les constats de Bouzerzour (1992), qui a signalé que l'augmentation de la densité des épis peut conduire à une réduction du nombre de grains par épi en raison de la compétition pour les ressources, notamment dans les conditions des Hauts Plateaux algériens.

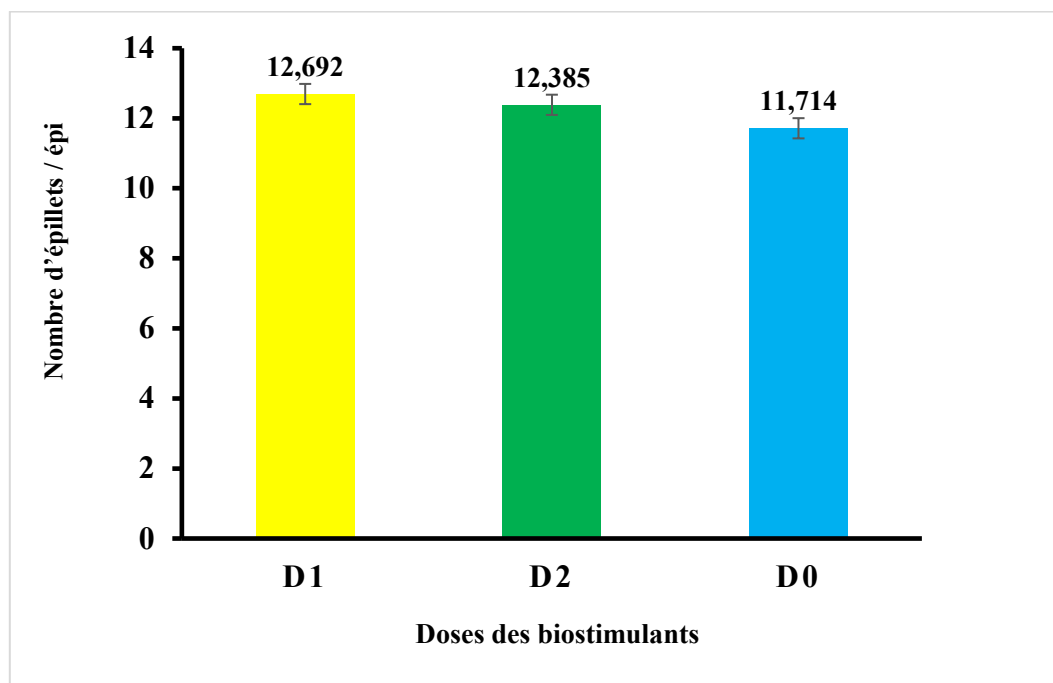
Par ailleurs, Allam et al. (2015) ont mis en évidence une variabilité inter-cultivar importante dans la région d'Oued Righ, soulignant le rôle des facteurs génétiques et des interactions environnementales.

Enfin, Benbelkacem et Kellou (2000) ont montré que le stress hydrique post-floraison constitue un facteur limitant majeur dans le développement des grains, en réduisant significativement leur nombre par épi.

#### **II.3.3.4. Nombre moyen d'épillets par épi**

L'analyse de la variance a révélé une différence significative entre les trois traitements testés ( $F = 3,845$ ,  $p = 0,030$ ), indiquant un effet notable des biostimulants sur le nombre d'épillets par épi. Le test de Tukey a permis de distinguer deux groupes homogènes.

Le traitement D1 a enregistré la moyenne la plus élevée du nombre d'épillets par épi (12,692), significativement supérieure à celle du témoin D0 (11,714), avec un écart de 0,978 épillet ( $p = 0,027$ ). Le traitement D2 présente une valeur intermédiaire (12,385) qui n'est pas statistiquement différente ni de D1 ni de D0, ce qui le place dans les deux groupes (A et B) (Figure 13).



**Figure 12. Variation du nombre d'épillets par épi en fonction des doses des biostimulants**

Le nombre d'épillets est un facteur clé de la productivité du blé et il est influencé par plusieurs facteurs, notamment la disponibilité des éléments nutritifs et les conditions de croissance durant les premières phases du développement de la plante.

Selon Slafer et al. (2014), le nombre d'épillets est principalement déterminé lors des phases de formation des feuilles et d'allongement, et dépend fortement de la disponibilité de l'azote ainsi que des conditions climatiques telles que la température et le stress hydrique. L'équilibre des phytohormones, telles que les cytokinines et les auxines, influence aussi le développement des organes reproducteurs et l'augmentation du nombre d'épillets.

Par conséquent, les biostimulants qui améliorent l'état physiologique de la plante peuvent stimuler la production de ces hormones, ce qui explique l'augmentation observée du nombre d'épillets dans le traitement D1.

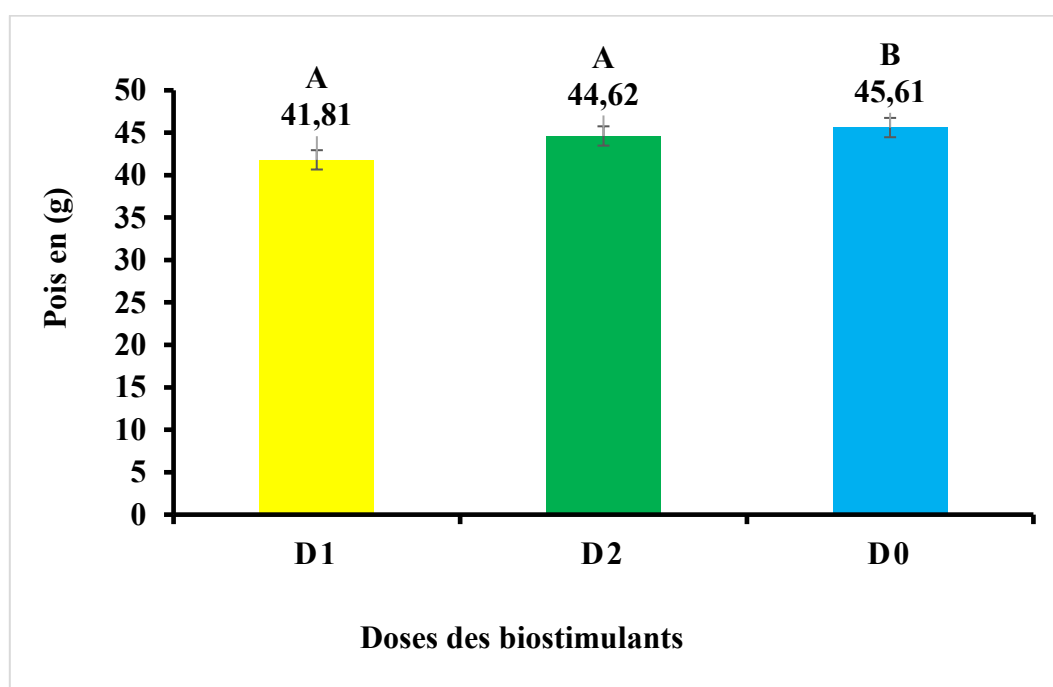
Cependant, la réponse modérée du traitement D2 pourrait être liée à un effet de dose ou à la saturation des sites d'action physiologique, comme l'ont souligné Rouphael et Colla (2020), qui

expliquent que l'efficacité des biostimulants n'est pas toujours linéaire et peut varier selon les conditions environnementales et le stade phénologique de la plante.

### II.3.3.5. Poids de mille grains (PMG)

L'analyse de la variance a révélé une différence hautement significative entre les traitements ( $F = 7,721$ ,  $p = 0,004$ ), indiquant un effet marqué des biostimulants sur le poids de mille grains (Annexe 3).

Le traitement témoin D0 a enregistré le PMG le plus élevé (45,609 g), suivi de D2 (44,619 g), sans différence significative entre eux ( $p = 0,619$ ). En revanche, le PMG de D1 (41,805 g) était significativement inférieur à ceux de D0 et D2 (Figure 14)



**Figure 13. Variation de poids de mille grains en grammes en fonction des doses des biostimulants**

Ces résultats s'alignent avec les observations de Bahlouli et Bouzerzour (2008), qui ont démontré que des températures élevées post-anthèse réduisent la durée de remplissage des grains, accélèrent la sénescence foliaire et diminuent le PMG chez le blé dur cultivé à Sétif.

De même, Aggoun et al. (2006) ont mis en évidence que le PMG est fortement influencé par les conditions climatiques et pédologiques, avec des variations significatives selon les sites et les années.

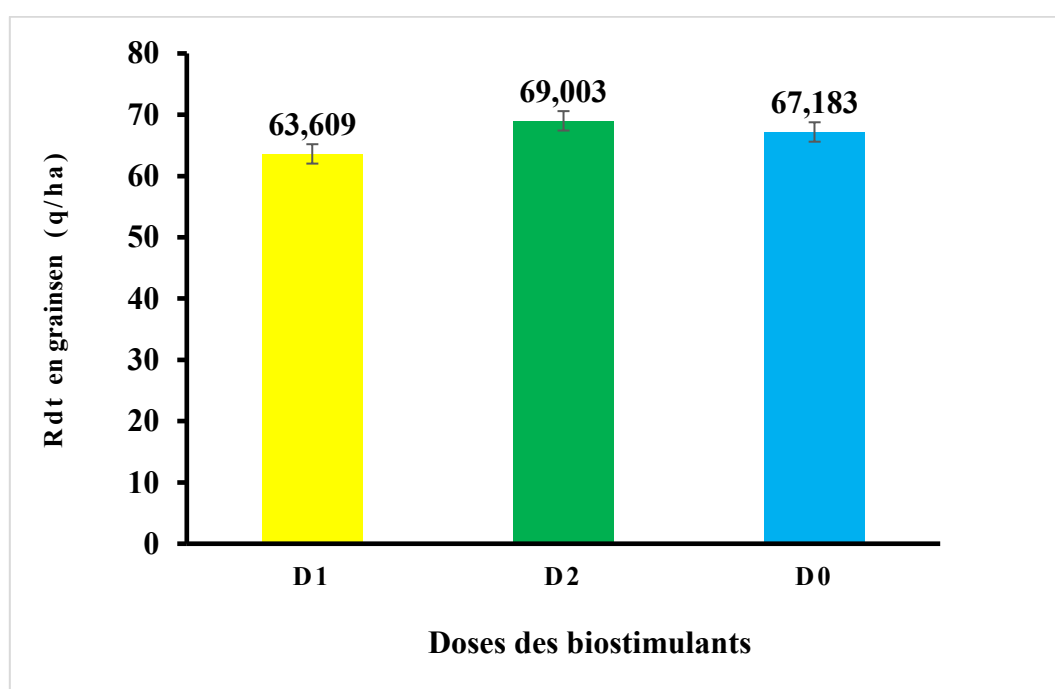


Par ailleurs, une étude menée à El Khroub a montré que le PMG varie entre 46 g et 66 g selon les variétés et les années, soulignant l'impact des conditions environnementales sur ce paramètre (Zouaoui, 1993 ; Chaker, 2003).

Ces résultats laissent penser que l'efficacité des biostimulants sur le poids de mille grains (PMG) ne dépend pas uniquement de la dose utilisée, mais aussi des conditions agro-climatiques dans lesquelles la culture est conduite. Cela souligne l'importance de bien choisir les doses et d'adapter les pratiques aux spécificités locales afin d'optimiser le PMG, et par conséquent, d'améliorer le rendement global du blé.

#### II.3.3.6. Rendement en grains

L'analyse de la variance n'a pas révélé de différences significatives entre les traitements ( $F = 0,150$ ,  $p = 0,862$ ), indiquant que l'utilisation des biostimulants n'a pas eu d'impact clair sur le rendement en grains. Le test de Tukey n'a pas détecté de différences significatives entre les moyennes des traitements, avec D2 (69,003 q/ha), D0 (67,183 q/ha) et D1 (63,609 q/ha) appartenant au même groupe statistique (figure 15).



**Figure 14.** Variation de rendement en grains (RDT q/ha) en fonction des doses des biostimulants

Toutefois, une étude récente menée en Algérie par Amour et Bennia (2022) a montré que l'utilisation du biostimulant *Eurofit Max* a renforcé la tolérance du blé dur (variété Bousselam) aux stress biotiques, notamment les maladies fongiques, ce qui s'est traduit par une augmentation du

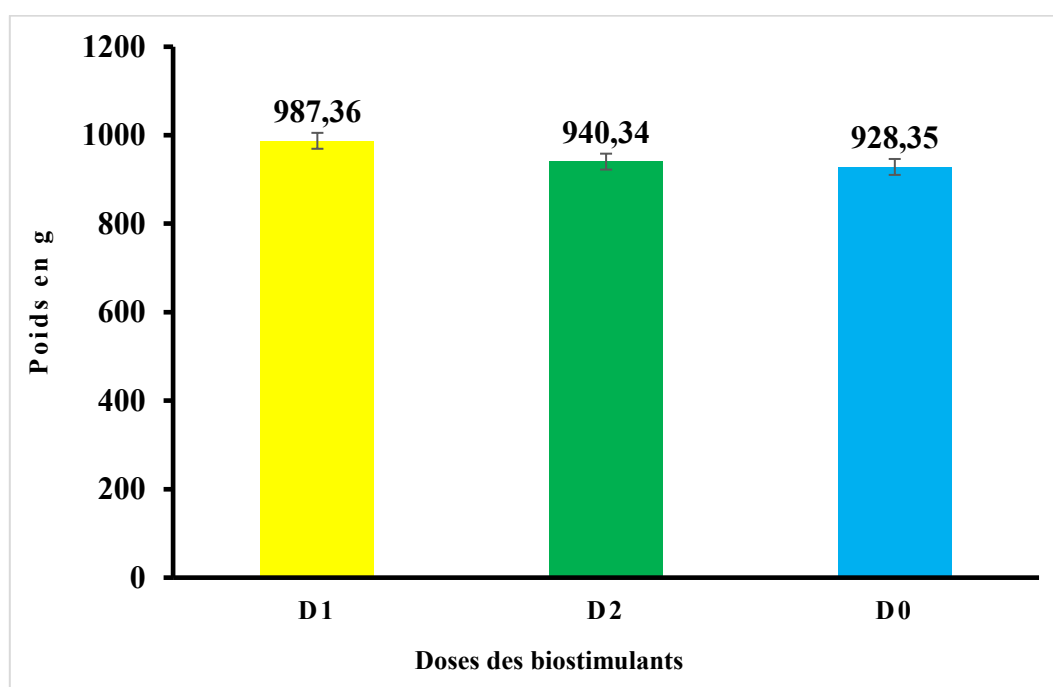
rendement de 46,51 à 97 q/ha dans des conditions semi-arides. Cela indique que l'efficacité des biostimulants dépend fortement des conditions environnementales et du type de stress subi par la plante, ce qui pourrait expliquer l'absence de résultats significatifs dans notre essai. Il convient également de souligner que le rendement en grains est influencé par plusieurs facteurs clés, notamment la variété cultivée, la disponibilité des éléments nutritifs, la régularité de l'irrigation, ainsi que les conditions climatiques durant la floraison et le remplissage des grains. Dans ce cadre, Ben Mohamed et Djaqoun (2010) ont insisté sur l'importance de la disponibilité en nutriments, tandis que Kadi et al. (2016) ont mis en évidence l'impact des conditions climatiques du sud algérien sur la qualité et le rendement des grains.

## II.3.4. Effet des biostimulants sur les paramètres de croissance

### II.3.4.1. Rendement en biomasse (tiges + épis)

L'analyse de la variance n'a pas révélé de différences significatives entre les traitements en ce qui concerne la biomasse sèche ( $p = 0,505$ ), avec un coefficient de variation de 10,89 %. Le test de Tukey (HSD) a regroupé les trois modalités (D1, D2, D0) dans un seul groupe homogène (groupe A), confirmant ainsi l'absence de différence statistiquement significative entre les doses de biostimulants testées (Annexe 3).

Les moyennes obtenues varient de 928,35 g/plante pour D0 (valeur la plus faible) à 987,36 g/plante pour D1 (valeur la plus élevée), avec une moyenne générale de 952,02 g/m<sup>2</sup>. (Figure 16)



**Figure 15. Variation de rendement en biomasse (tiges + épis) en fonction des doses des biostimulants**

Ces résultats concordent avec ceux observés à la station expérimentale de l'Institut Technique des Grandes Cultures à Sétif, où aucune différence significative de biomasse sèche n'a été relevée entre les traitements. Cela suggère que, dans certaines conditions climatiques — en particulier en zones semi-arides — l'effet des biostimulants peut rester limité (Allali, 2018).

De plus, une autre étude menée sur le blé dur en milieu semi-aride a montré que la biomasse sèche est fortement influencée par les conditions environnementales et climatiques, avec des variations notables selon les régions et les campagnes agricoles (Oulmi et al., 2016).

Sur la base des résultats présentés et des études antérieures, il apparaît clairement que l'efficacité des biostimulants sur la biomasse foliaire n'est pas constante, mais dépend fortement des conditions agronomiques et climatiques environnantes propre à chaque région.

#### II.3.4.2. Longueur de l'épi (cm)

Les résultats de l'analyse présentée dans la figure 17 montrèrent que la longueur moyenne des épis était de 5,79 cm, avec un écart-type faible de 0,607 cm, traduisant une faible variabilité entre les observations (Annexe 05).

Lorsqu'on examine chaque traitement individuellement, on remarque que la dose D2 a entraîné une réponse plus uniforme, avec la plupart des épis mesurant autour de 6 cm. Cela laisse penser que ce biostimulant a eu un certain effet positif sur l'allongement des épis.

À l'inverse, la dose D1 a donné des résultats plus dispersés, allant de 4,5 cm à 7 cm, ce qui traduit une réaction plus variable des plantes à ce traitement.

Quant au témoin (D0), il affiche la moyenne la plus basse, avec des longueurs d'épis majoritairement comprises entre 5 et 6 cm, ce qui suggère un impact limité sur ce caractère morphologique.

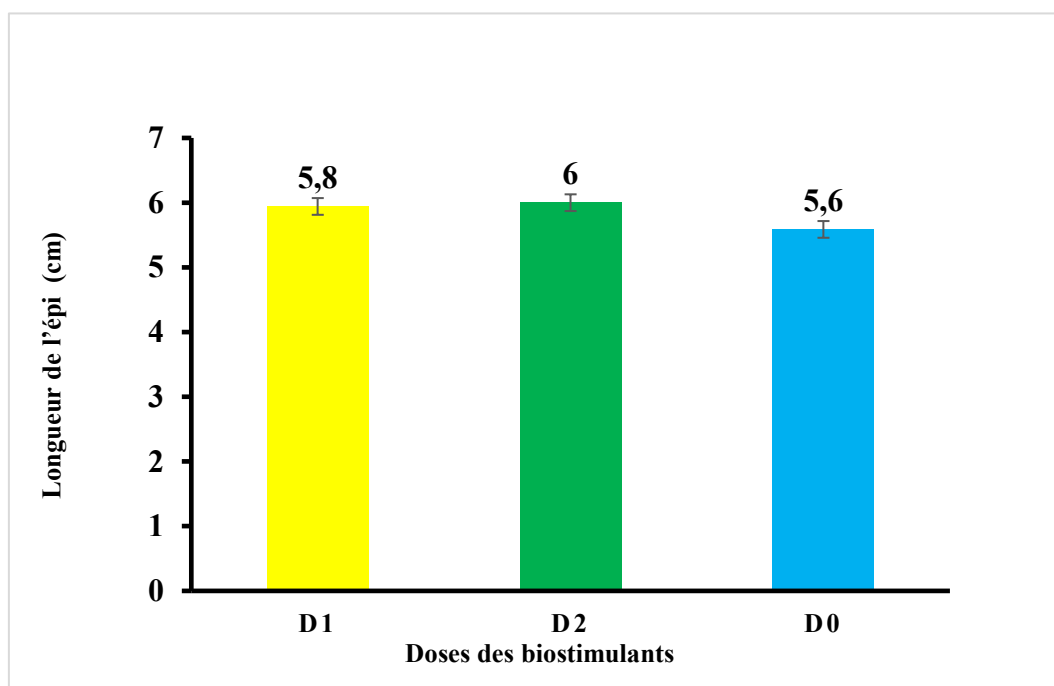


Figure 16. Variation de longueur de l'épi (cm) en fonction des doses des biostimulants

Ces résultats confirment les observations de Zalani (2019), qui a mis en évidence l'effet bénéfique d'une fertilisation équilibrée sur les composantes du rendement du blé dur, en particulier la longueur de l'épi.

De son côté, Boutbila (2018) a également montré qu'un programme de fertilisation bien adapté contribue de manière significative à l'amélioration de la croissance du blé, surtout dans des conditions climatiques difficiles.

#### II.3.4.3. La hauteur de tige (cm)

L'analyse de la variance n'a montré aucune différence significative entre les traitements ( $F = 0,975$  ;  $p = 0,386$ ), indiquant que les biostimulants n'ont pas eu d'effet notable sur la hauteur des tiges. Selon le test de Tukey, aucune des comparaisons par paires n'a atteint le seuil de signification.

Les moyennes observées pour D1 (60,940 cm), D2 (60,920 cm) et D0 (58,807 cm) sont statistiquement équivalentes et appartiennent toutes au même groupe homogène A (figure 18).

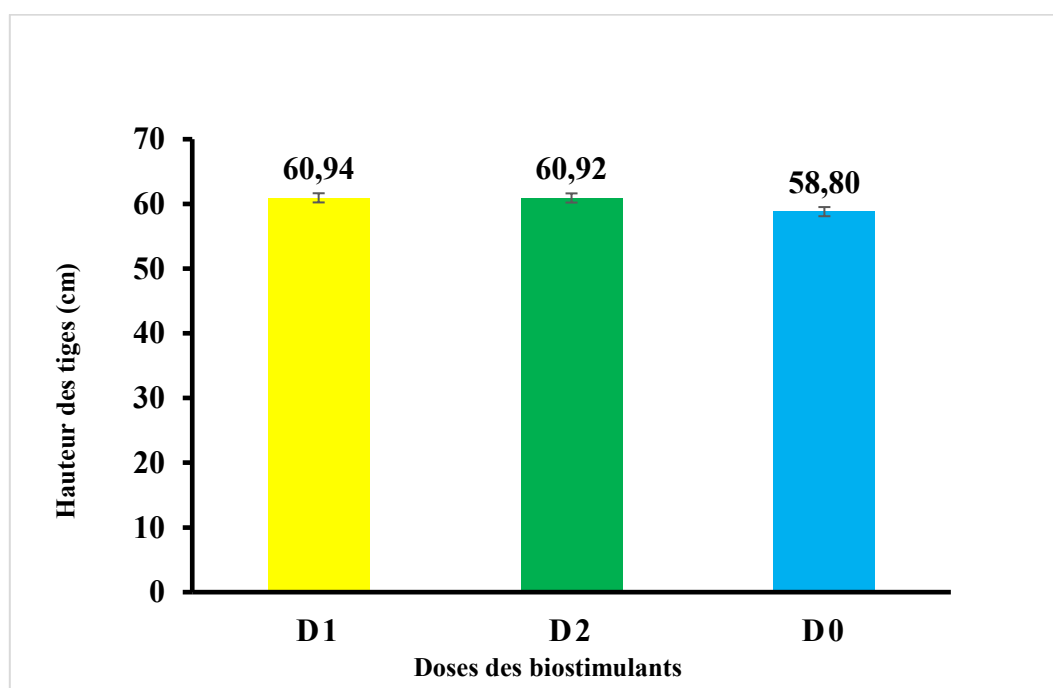


Figure 17. Variation de la hauteur des tiges (cm) en fonction des doses des biostimulants

Ces résultats concordent avec ceux obtenus à la station de l'ITGC de Sétif, où l'application de biostimulants, en conditions semi-arides, n'a pas significativement influencé la croissance végétative en hauteur du blé dur (Benmahammed et al., 2015). D'autres études, comme celle de Fellahi et al. (2014), soulignent que les facteurs génétiques et le climat local, en particulier la disponibilité de l'eau durant les phases critiques de croissance, jouent un rôle déterminant dans la hauteur de la plante.

De notre point de vue, l'absence de réponse significative observée dans notre essai pourrait s'expliquer par une interaction limitée entre les biostimulants appliqués et les conditions environnementales spécifiques au site d'expérimentation.

#### II.3.4.4. Hauteur totale de la plante (cm)

Les résultats de l'analyse de la variance (ANOVA) montrent qu'il n'y a pas eu de différence significative entre les traitements pour la hauteur totale des plantes ( $F = 0,510$  ;  $p = 0,604$ ). Cela signifie que les biostimulants testés n'ont pas eu d'effet clair sur ce paramètre (Annexe 3).

Le test de Tukey va dans le même sens : les hauteurs moyennes observées avec D2 (66,92 cm), D1 (66,53 cm) et le témoin D0 (65,16 cm) font toutes partie du même groupe homogène (A) (figure 19).

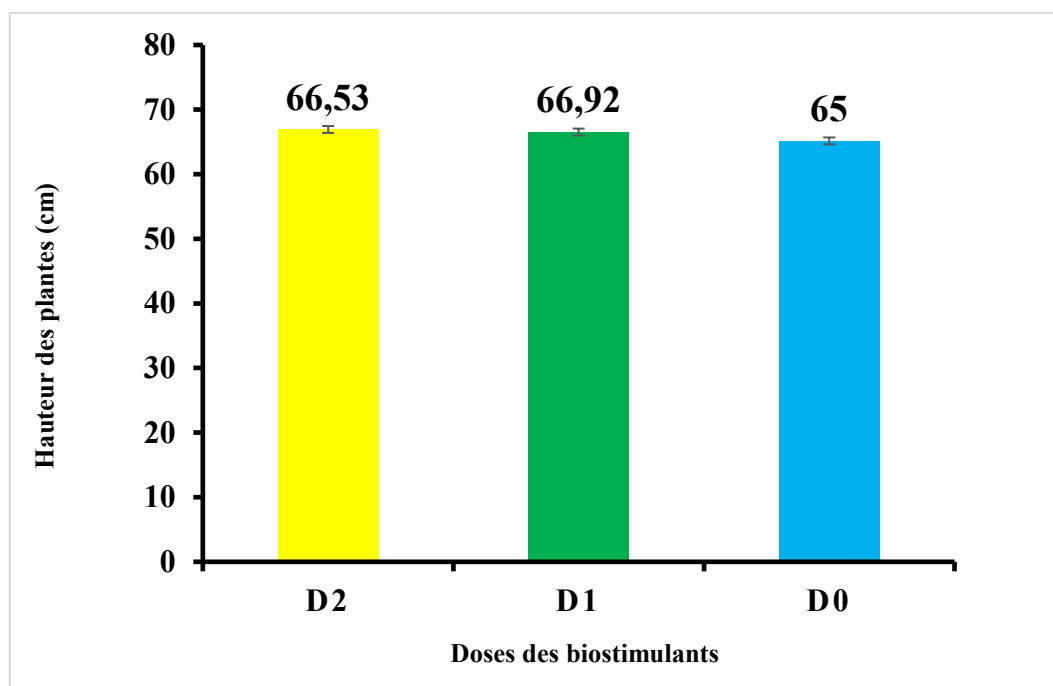


Figure 18. Variation de la hauteur des plantes en fonction des doses des biostimulants

Ces observations sont cohérentes avec les résultats rapportés par Fellahi et Ould Kiar (2023), qui ont montré que l'effet des biostimulants foliaires sur certains caractères morphologiques, notamment la hauteur des plantes, demeure limité dans les conditions agroclimatique de l'Algérie.

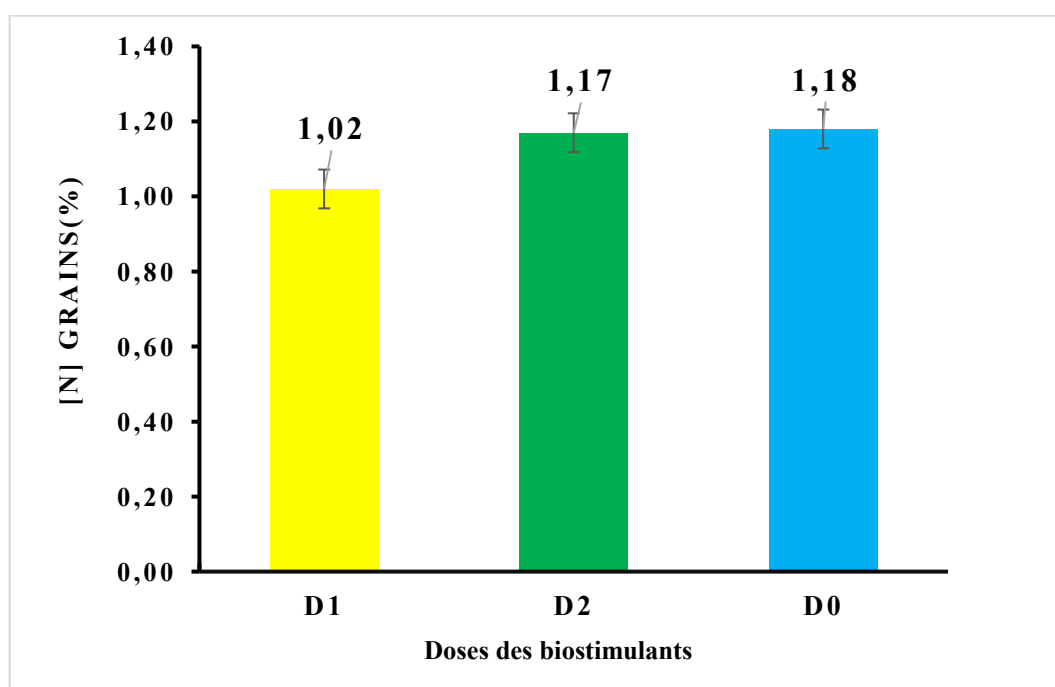
Par ailleurs, Boukhalifa (2019) a souligné que les différences de croissance végétative, y compris la hauteur, sont davantage influencées par les facteurs édaphiques et climatiques que par le type d'engrais appliqué, corroborant ainsi les tendances observées dans notre étude.

### II.3.5. Effet des biostimulants sur le teneur en azote total des grains

L'analyse de la variance n'a révélé aucune différence significative entre les trois traitements appliqués ( $F = 2,843$ ,  $p = 0,135$ ). Bien que la valeur de  $F$  indique une certaine variabilité entre les modalités, le seuil de signification n'a pas été atteint ( $p > 0,05$ ) (Annexe 03).

Le test de comparaison multiple de Tukey (HSD) n'a détecté aucune différence statistiquement significative entre les traitements.

Les modalités D1 (1,020 %), D2 (1,173 %) et D0 (1,180 %) ont été regroupées dans un même groupe homogène, ce qui confirme que les différences observées ne sont pas suffisantes pour être considérées comme significatives.



**Figure 19. Variation de la teneur en azote des grains (%) en fonction des doses des biostimulants**

Ces résultats suggèrent que l'application des biostimulants n'a pas eu d'effet notable sur l'accumulation de l'azote dans les grains. Comme l'a souligné du Jardin (2015), l'efficacité des biostimulants varie selon la nature de la substance active et l'état physiologique de la plante.

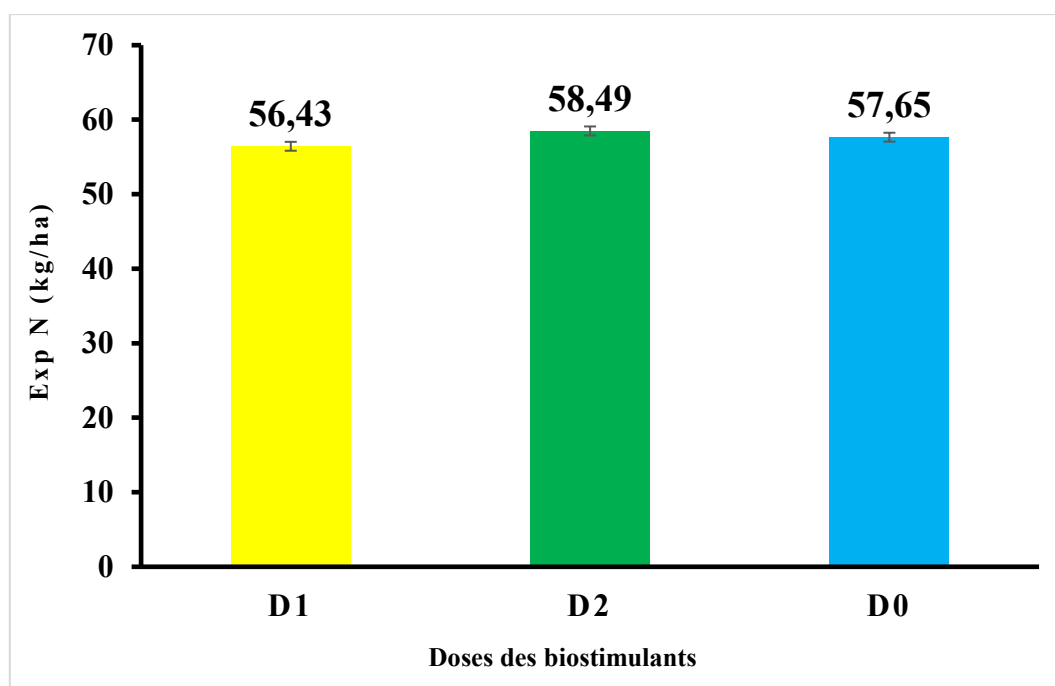
Par ailleurs, les travaux de Rouphael et Colla (2020) indiquent que la réponse aux biostimulants dépend également du stade de développement de la plante et de l'interaction avec des facteurs de stress abiotiques tels que la chaleur ou le déficit hydrique, ce qui pourrait limiter leur efficacité dans des conditions arides.

En comparaison, une étude publiée dans la revue *Agriculture & Food Security* rapporte que la teneur en azote des grains de blé varie entre 1,75 % et 2,7 % de la matière sèche, en fonction de la variété et du niveau d'apport azoté. Les valeurs observées dans notre étude (entre 1,020 % et 1,180 %) sont donc inférieures à celles rapportées dans la littérature, ce qui pourrait refléter l'effet limité des biostimulants dans les conditions spécifiques de l'essai.

### II.3.6. Quantité d'azote exportée (Exp N) (kg/ha)

L'analyse de la variance (ANOVA) indique qu'aucune différence significative n'a été observée entre les doses de biostimulants en ce qui concerne l'absorption de l'azote par les plantes (Exp N) ( $F = 0,181$  ;  $p = 0,839$ ).

Le test de Tukey (HSD) confirme cette absence de variation significative, les traitements D1, D2, et D0 appartenant tous au même groupe statistique (groupe A) (figure 21).



**Figure 20.** Variation de l'azote exporté en Kg par ha en fonction des doses biostimulants

Ces résultats s'expliquent par le fait que les biostimulants appliqués n'ont pas modifié de manière significative les mécanismes physiologiques de l'absorption de l'azote, ce qui est en accord avec les observations de Karabi et al. (2016), qui ont étudié le fonctionnement microbiologique des sols oasiens dans la région de Ouargla et noté que la disponibilité en azote dépend fortement des interactions complexes entre la microflore du sol et les conditions environnementales.



Par ailleurs, Benrabah et al. (2019) ont souligné que dans les conditions semi-arides algériennes, les réponses des cultures à l'azote appliqué peuvent être limitées par le stress hydrique, ce qui réduit l'efficacité des fertilisants et des biostimulants sur l'absorption d'éléments nutritifs.

### II.3.7. Apports en eau par stade phénologique durant le cycle cultural

Le graphique (figure 20) présente les quantités d'eau (en millimètres) appliquées au cours du cycle de croissance du blé dur, obtenues grâce à notre suivi direct du programme d'irrigation mis en œuvre par les gestionnaires de la ferme tout au long de la campagne, depuis la phase de germination jusqu'à la phase de maturation. La quantité totale d'eau appliquée a atteint 695,08 mm.

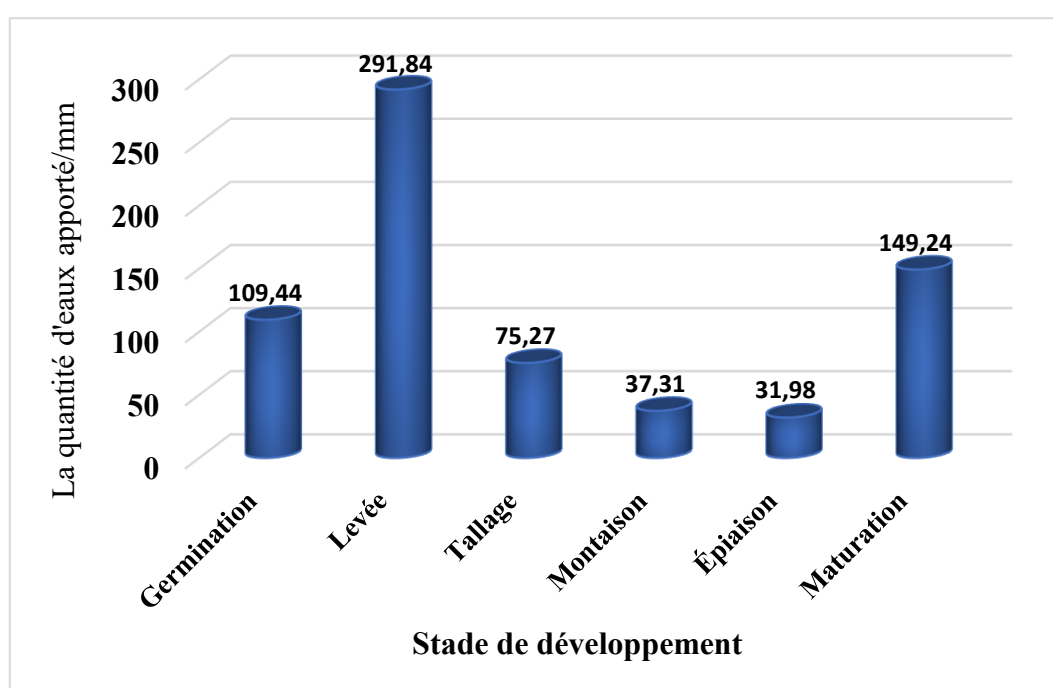


Figure 21. Apport en eau selon les stades de croissance du blé dur

Les résultats obtenus et les études antérieures concernant les besoins en eau du blé durant ses différentes phases de croissance dans les zones arides et semi-arides, nous constatons ce qui suit :

Selon les études de la FAO (2012), Allen et al. (1998), Zhang et Chao (2011), IWMI (2012), Arvalis (2000), et Bonnefoy & Moynier (2014), les besoins en eau du blé varient significativement au cours de ses stades de développement, allant de 60 à 90 mm durant la germination et la levée, de 90 à 120 mm pendant le tallage, 60 mm lors de l'allongement de la tige, 160 mm entre le tallage et la floraison, 140 mm entre la floraison et la phase laiteuse, et enfin 90 mm durant la maturation.

Dans cette étude, une quantité totale de 401 mm a été appliquée durant les phases de germination et levée (109 mm + 292 mm), ce qui dépasse les recommandations précédentes, indiquant

un apport abondant en eau en début de cycle, favorable à une bonne germination, surtout compte tenu des conditions climatiques locales.

Cependant, pendant la phase de tallage, seulement 75 mm ont été appliqués, soit en dessous de la fourchette recommandée (90 mm), ce qui pourrait affecter le développement des talles.

Pour l'allongement de la tige, une quantité faible de 37 mm a été fournie, nettement inférieure aux 60 mm recommandés, suggérant un déficit hydrique susceptible d'impacter la croissance végétative.

Lors de la floraison, seulement 32 mm ont été appliqués, bien en deçà des 140 mm recommandés pour la période floraison-phase laiteuse, ce qui pourrait limiter le remplissage des grains et la qualité du rendement.

Enfin, lors de la phase de maturation, 149 mm ont été appliqués, soit une quantité supérieure aux 90 mm recommandés, vraisemblablement pour compenser les déficits des phases précédentes ou pour maintenir une humidité du sol favorable à la maturation des grain

# Conclusion

## Conclusion

Cette étude vise à évaluer l'effet des biostimulants sur la croissance et la productivité du blé dur (*Triticum durum* Desf.) cultivé sous système d'irrigation par pivot dans un environnement saharien aride.

Un essai réalisé en plein champ a été conduit durant la campagne agricole 2024–2025, en appliquant trois formulations différentes de biostimulants, chacune à deux doses distinctes, en plus d'un témoin non traité. Les applications ont été effectuées à des stades phénologiques précis de la culture.

Les résultats obtenus ont révélé des différences significatives sur le plan statistique pour certains indicateurs de croissance et de rendement, notamment le nombre d'épillets par épi, le poids de mille grains (PMG) et la longueur des épis.

Par ailleurs, les analyses ont montré l'absence d'effet significatif des biostimulants sur la teneur en azote des grains, ce qui traduit une efficacité limitée de ces produits à améliorer l'absorption des éléments minéraux dans les conditions de cette expérimentation.

Malgré ces résultats qui suggèrent une absence d'efficacité des biostimulants utilisés sur plusieurs paramètres étudiés et même une performance supérieure du témoin dans certains cas il serait prématuré de conclure à leur inefficacité ou à leur inadéquation.

En effet, plusieurs facteurs peuvent avoir influencé les résultats obtenus, tels que les conditions climatiques au moment des applications, la nature du sol, le calendrier des traitements, ou encore la capacité physiologique des plantes à réagir aux substances appliquées.

Sur la base de ces constats, nous recommandons ce qui suit :

Répéter l'essai sur plusieurs campagnes agricoles afin d'atténuer l'effet des fluctuations climatiques saisonnières.

Tester d'autres formulations biologiques, y compris des produits locaux, pour évaluer leur adaptation aux caractéristiques pédoclimatiques spécifiques des zones arides.

Améliorer les techniques de gestion des grandes cultures, en particulier dans les régions sahariennes.

En somme, malgré les résultats obtenus, cette étude s'inscrit parmi les travaux qui visent à élargir la base de connaissances en matière de fertilisation en général, et d'utilisation des biostimulants en particulier, dans le contexte de l'agriculture saharienne.

Elle ouvre des perspectives importantes pour l'adoption de stratégies agricoles plus durables face aux changements climatiques et aux contraintes environnementales sévères de ces milieux.

# **Références bibliographiques**

## Références bibliographiques

- ABD EL-WAHED, M. H., & MOHAMED, M. H.** (2021). Effect of supplemental irrigation on productivity of some wheat cultivars. *Alexandria Journal of Agricultural Sciences*, 66(1), 1–10.
- AGGOUN, A., BENMAHAMMED, K., & DEKHILI, M.** (2006). Effets des facteurs environnementaux sur le poids des grains dans cinq populations algériennes de blé dur (*Triticum durum* Desf.). *Cahiers Agricultures*, 15(5), 425–431.
- ALLALI, K.** (2018). Amélioration de la production du blé dur sous-systèmes de culture innovants. Mémoire de Magistère, Université Ferhat Abbas - Sétif 1.
- ALLEN R.G., PEREIRA L.S., RAES D., SMITH M.**, 1998. *Crop evapotranspiration: Guidelines for computing crop water requirements*. FAO Irrigation and Drainage Paper No. 56. FAO, Rome.
- AMOUR, N., & BENNIA, A.** (2022). Effet du biostimulant Eurofit Max sur la tolérance du blé dur (variété Bousselam) aux stress biotiques (maladies fongiques) sous condition semi-aride [Mémoire de Master, Université Mohamed El Bachir El Ibrahimi, Bordj Bou Arreridj].
- ARTYSZAK A.**, 2018. *Effect of silicon fertilization on crop yield quantity and quality – a literature review in Europe*. Plants (Basel, Switzerland).
- ARVALIS**, 2000. *Charte de Production du blé tendre*. 1re Éd., Institut du végétal et IRTAC – Institut de Recherches Technologiques Agroalimentaires des Céréales, Paris.
- ASFERTRADE**, 2019. *Méthode de fertilisation du blé [Manuel]*. Alger, Algérie. Disponible sur : <https://www.asfertrade-dz.com/files/Mthodedefertilisationdubl.pdf>
- AULAGNIER, A., & LEMAIRE, G.** (2001). *Nutrition azotée des cultures : diagnostic et pilotage*. Paris : Éditions France Agricole.
- AWAAD H.A., ATTA H.M., EL-MOKADEM M.T.**, 2016. *Potassium in plant nutrition: Uptake, transport and functions*. Journal of Plant Nutrition, 39(12), pp. 1701–1715.
- BAHLOULI F., BOUZERZOUR H., BENMAHAMMED A.**, 2005. *Selection of stable and high yielding cultivar of durum wheat under semi-arid condition*. Pakistan Journal of Agronomy, 4, pp. 360–365.
- BAHLOULI, F., & BOUZERZOUR, H.** (2008). Étude de la réponse du poids de 1000 grains à la température maximale post-anthèse chez le blé dur (*Triticum durum* Desf.) sous contrainte hydrique. *Revue Sciences Technologies & Développement*, 3(1), 9–18.
- BASTOS, L. M., CARCIOCHI, W., LOLLATO, R. P., JAENISCH, B. R., REZENDE, C. R., SCHWALBERT, R., VARA PRASAD, P. V., ZHANG, G., FRITZ, A. K., FOSTER, C., WRIGHT, Y., YOUNG, S., BRADLEY, P., & CIAMPITTI, I. A.** (2020). Winter wheat yield response to plant density as a function of yield environment and tillering potential: A review and field studies. *Frontiers in Plant Science*, 11, 54.
- BATJES, N. H.** (2019). Total nitrogen stocks and nitrogen fractions in soils of the world. *Geoderma*, 333, 161–170.
- BEBBA S.**, 2011. *Essai de comportement de deux variétés de blé dur (Triticum durum L. var. Carioca et Vitron) conduite sous palmier dattier au niveau de la région d'Ouargla*. Diplôme d'Ingénieur d'État en Agronomie Saharienne, Université Kasdi Merbah, Ouargla, 5 p.
- BEBBA, S.** (2011). *Essai de comportement de deux variétés de blé dur (Triticum durum L. var. Carioca et Vitron) conduite sous palmier dattier au niveau de la région de Ouargla*. Mémoire d'ingénieur. UKM Ouargla. 70 p.

- BELAGROUZ A.**, 2021. *Étude des caractéristiques liées à l'efficience d'utilisation de l'eau chez le blé dur (Triticum durum Desf.)*. Thèse de Doctorat, Université d'Ouargla.
- BELAID D.**, 1987. *Étude de la fertilisation azotée et phosphatée d'une variété de blé dur d'hiver dans le haut Chélif*. Mémoire de Magistère, I.N.A. Alger, 81 p.
- BELAID D.**, 1996. *Aspects de la céréaliculture algérienne*. Éditions OPU, Alger, 207 p.
- BEN MOHAMED, H., & DJAQOUN, N.** (2010). Effet des biostimulants sur la croissance et le rendement du blé dur dans les conditions arides en Algérie. *Revue Algérienne des Sciences Agricoles*, 5(2), 123-134.
- BENMAHAMMED, A., BOUZERZOUR, H., & KELLIL, M.** (2015). Effet des biofertilisants et des densités de semis sur la croissance et le rendement du blé dur dans les Hautes Plaines Sétifiennes. *Revue Agriculture*, 27(1), 45-54.
- BENNACEUR, M., FERCHICHI, A., & CHAABANI, F.** (2014). Maturity stages and grain filling in durum wheat under semi-arid conditions. *Agronomy Journal*, 106(4), 1124–1132.
- BENYAHIA, F., MERZOUK, A., & BENSALD, S.** (2013). Évaluation de la qualité des eaux d'irrigation dans la région de Ouargla. *Revue des Sciences et Technologies*, 10, 45–53.
- BINET P., BRUNEL J.**, 1999. *Physiologie végétale*. Doin, pp. 933–935/1156.
- BONNEFOY M., MOYNIER J.L.**, 2014. *Besoins en eau des céréales*. Colloque au champ – Irrigation – le Magneraud, ARVALIS, France, 48 p.
- BOUKHALFA, M.** (2019). Effet du type d'engrais sur le rendement et quelques paramètres morphologiques de deux variétés de blé dur sous conditions semi-arides [Mémoire de Master, Université Mohamed El Bachir El Ibrahimi - Bordj Bou Arréridj]. Thèses Algérie.
- BOUKHALFA-DERAOUI N.**, 2016. *Fertilisation phosphatée d'une culture de blé dur (Triticum durum Desf. variété Carioca) irriguée, en milieu saharien (El-Menia)*. Thèse de Doctorat, ENSA.
- BOUTBILA, R.** (2018). Contribution à l'étude et l'optimisation de la fertilisation minérale du blé dur (Triticum durum Desf.) [Mémoire de Master, Université Kasdi Merbah Ouargla]. DSpace Université de Ouargla.
- BOYLDIEU J.**, 1982. *Blé tendre*. Techniques Agricole, Tome 1, 26 p.
- BOZEK K.S., ZUK-GOLASZEWSKA K., BOCHENNEK A., GOLASZEWSKI J., KALAJI H.M.**, 2021. *Modelling the growth, development and yield of Triticum durum Desf. under the changes of climatic conditions in north-eastern Europe*. Scientific Reports, 11, 21753.
- BRIBER, N.** (2024). Comportement de certains génotypes de blé dur (Triticum durum, Desf) face à quelques contraintes du milieu semi-aride (Mémoire de master). Université de Constantine 1.
- BROCCANELLO C., BELLIN D., DALCORSO G., FURINI A., TARANTO F.**, 2023. *Genetic approaches to exploit landraces for improvement of Triticum turgidum ssp. durum in the age of climate change*. Frontiers in Plant Science, 14, 1101271.
- BROUILLET L., COURSOL F., FAVREAU M.**, 2006. *VASCAN. The database of Canadian vascular plants*. Herbar Marie-Victorin, Institut de recherche en biologie végétale, Université de Montréal. (Consulté le 18/06/2020).
- BURTIN M., BROBECK-ALLARD N.**, 2015. *Fertilisation des grandes cultures, Guide technique*. Agriculteur et territoire, 36 p.
- BURTIN M., BROBECK-ALLARD N.**, 2015. *Fertilisation des grandes cultures, Guide technique*. Agriculteur et territoire, 36 p.
- CEGLAR A., TORETI A., ZAMPIERI M., ROYO C.**, 2021. *Global loss of climatically suitable areas for durum wheat growth in the future*. Environmental Research Letters, 16.



- CHABI H., MOHAMED D., KAFI M., KHILASSI E., 1992.** *Estimation du taux d'utilisation du potentiel de production des terres à blé dur dans le Nord de la wilaya de Sétif*. Thèse d'ingénieur, INA El Harrach.
- CHADLI A., MOHAMED D.H., 2015.** *L'irrigation d'appoint du blé*. République Algérienne Démocratique et Populaire, Ministère de l'Agriculture, du Développement Rural et de la Pêche.
- CHAKER, A. (2003).** Étude de la variabilité du poids de mille grains chez le blé dur dans différentes conditions agro-climatiques. Mémoire de Magistère, Université de Sétif.
- CHEKHMA M., HACHIMI F.Z., AIB Y., 2020.** *Étude de la biodiversité des parcours steppiques dans la région de M'sila*. Mémoire de master, Université Mohamed Boudiaf - M'sila.
- CLEMENT G., PRAT J., 1970.** *Les céréales*. Collection d'enseignement agricole, 2<sup>e</sup> édition, 351 p.
- COUVREUR F., 1981.** *La culture du blé se raisonne*. Cultivar, juin, pp. 39–41.
- DE VITA P., TARANTO F., 2019.** *Durum wheat (Triticum turgidum ssp. durum) breeding to meet the challenge of climate change*. Advances in Plant Breeding Strategies: Cereals.
- DEKAR L., 1993.** *Analyse du comportement du blé dur dans deux zones pédoclimatiques*. Mémoire Ing. INA El-Harrach, Alger, 124 p.
- DELOUCHE, J. C. (1980).** Germination tests for seed viability evaluation. Mississippi State University, Seed Technology Laboratory.
- DU JARDIN, P. (2015).** Biostimulants végétaux : définition, concept, principales catégories et réglementation. *Scientia Horticulturae*, 196, 3–14.
- DU JARDIN, P. (2015).** Biostimulants végétaux : définition, concept, principales catégories et réglementation. *Scientia Horticulturae*, 196, 3–14.
- DUBCOVSKY J., DVORAK J., et al., 2007.** *Genome plasticity: A key factor in the success of polyploid wheat under domestication*. Science, 316(5833), pp. 1862–1866.
- EUROSTAT, 2023a.** *Crop production in national humidity*. [En ligne]. Disponible sur : <https://ec.europa.eu/eurostat/databrowser/bookmark/8d26474d-8651-4fc4-8148-1b97f5f5bfad?lang=en> (Consulté le 21 juin 2023).
- FAO (ORGANISATION DES NATIONS UNIES POUR L'ALIMENTATION ET L'AGRICULTURE). (2000).** *Les engrais et leur utilisation*. Bulletin FAO sur les engrais et la nutrition des plantes n° 19. Rome : FAO.
- FAO, 2012.** *Crop water requirements*. Food and Agriculture Organization of the United Nations.
- FEILLET P., 2000.** *Le grain de blé: composition et utilisation*. Editions Quae.
- FELDMAN M., KISLEV M.E., 2007.** *Domestication of emmer wheat and evolution of free-threshing tetraploid wheat*. Israel Journal of Plant Sciences, 55, pp. 207–221.
- FELLAHI, Z. E. A., HANNACHI, A., BOUZERZOUR, H., & BOUTEKRAÏT, A. (2014).** Variabilité phénotypique de quelques caractères agronomiques chez des variétés locales de blé dur (*Triticum durum* Desf.) en condition semi-aride. *Nature & Technologie*, 11, 23-30.
- FELLAHI, Z. E., & OULD KIAR, R. (2023).** Effet des biostimulants foliaires sur le comportement de quelques variétés du blé dur.
- FERNÁNDEZ V., BROWN P.H., 2013.** *From plant surface to plant metabolism: the uncertain fate of foliar-applied nutrients*. Front Plant Sci, 4:289.
- FERNÁNDEZ V., SOTIROPOULOS T., BROWN P.H., 2013.** *Foliar fertilization: Scientific principles and field practices*.

- FRANZONI G., COCETTA G., PRINSI B., FERRANTE A., ESPEN L., 2022.** *Biostimulants on crops: Their impact under abiotic stress conditions*. Horticulturae, 8(3), 189.
- GAO S.D., YANG C.Y., DENG X.P., XIA Y., SHEN Z.G., CHEN Y.H., 2018.** *Study on absorption and transport of K and Zn by foliar application in tobacco leaves*. J Nanjing Agric Univ, 41:330–340 (in Chinese).
- GASMI W., DEHIRI A., 2018.** *Effet de stress salin sur la germination et la croissance des deux variétés de blé dur (Triticum durum Desf.)*. Mémoire de Master, Université Mohamed El Bachir El Ibrahimi B.B.A., 71 p.
- GATE P., 1995.** *Écophysiologie du blé : de la plante à la culture*. Éditions Lavoisier.
- GATE P., 1997.** *Ecophysiologie du blé*. Préface de Tony Fischer, 103 p.
- GATE P., GIBAN M., 2003.** *Stade du blé*. Éd. Paris, ITCF, 68 p.
- CASTANY G. 1982.** Bassin sédimentaire du Sahara septentrional (Algérie Tunisie). Aquifères du Continental Intercalaire et du Complexe Terminal. *Bulletin du BRGM (2), III(2)* : 127-147.
- GHARBI, R., BELHOUCHE, L., & BENAMMAR, S. (2019).** Étude hydrogéologique de l'aquifère cénomanien dans la région de Ouargla (Sud-est Algérien). *Journal of African Earth Sciences*, 153, 154–163.
- GRIGNAC P., 1977.** *Le blé dur morphologie succincte*. Annales de L'INRA El-Harrach, Vol : VIII n°2, Alger.
- HAKAN O., WILLCOX G., GRANER A., SALAMINI F., KILIAN B., 2010.** *Geographic distribution and domestication of wild emmer wheat (Triticum dicoccoides)*. Genetic Resources and Crop Evolution, 58, pp. 11–53.
- HAMADACHE A., 2013.** *Grandes Cultures. Livre Tome I : le blé*, 256 p.
- HOFFMANN, H., CHARTZOULAKIS, K., & STRELKOFF, T. (2007).** *Irrigation management under water scarcity conditions*. FAO – Water Reports 26. Rome: FAO.
- HOGGAS N., 2008.** *Exploitation de la vigueur hybride chez le blé dur (Triticum durum Desf.)*. Mémoire ING., Batna, 78 p.
- I.T.C.F., 2002.** *Stades du blé*. Institut du végétal, Paris, pp. 1–40.
- INRA. (2010).** *Production et phénologie du blé dur en zones arides et semi-arides*. Paris : INRA Éditions.
- INTERNATIONAL WATER MANAGEMENT INSTITUTE (IWMI), 2012.** *Water management practices in wheat cultivation: A review*. IWMI Research Report 139.
- KADI, A., BENYAHIA, N., & TOUMI, M. (2016).** Impact des conditions climatiques sur le rendement et la qualité du blé dur dans le sud de l'Algérie. *Journal Algérien de l'Agronomie*, 10(1), 45-54.
- KALARASSE A., 2018.** *Effet des altérations de la semence sur le développement de la culture et la qualité du rendement chez le blé*. Thèse de mastère, Univ. Guelma.
- KARABI, M. (2016).** Fonctionnement microbiologique des sols oasiens : Cas de quelques sols de la région de Ouargla. Thèse de doctorat, Université Kasdi Merbah – Ouargla, Algérie, 235 p.
- KHACHOUCHE H., MERIMI H., 2018.** *Étude de la bioécologie du nématode à kyste Heterodera avenae inféodé aux céréales dans la région d'Ain Defla*. Mémoire de master, Université Djilali Bounaama de Khemis Miliana, 75 p.
- KUMAR P., CHOUDHARY A., KUMAR S., PAREEK B., SHEKHAWAT P.S., 2020.** *La fertilisation foliaire : une approche pour améliorer l'efficacité de l'utilisation des nutriments et la production agricole*. Just Agriculture, Vol. 1, No. 2, octobre 2020.

- KHARROUBI, M.** (2017). *Étude hydrogéologique de la nappe du Complexe Terminal de la vallée de Ouargla*. Mémoire de Master en Sciences de la Terre, Option : Hydrogéologie, Spécialité : Eaux souterraines et environnement, Université d'Oran 2, Faculté des Sciences de la Terre, de la Géographie et de l'Aménagement du Territoire, Département des Sciences de la Terre et de l'Univers, Algérie.
- LAROUSSE AGRICOLE**, 2002.
- LAROUSSE AGRICOLE**, 2002. *Histoire des agricultures du monde*.
- MAACHI L.**, 2005. *Étude de comportement d'une céréale à grains sous centre pivot dans la région de Ouargla : Évaluation de l'efficacité de l'irrigation et de la fertilisation azotée*. Thèse Ingénieur Agro, Sah. ITAS, Ouargla, 91 p.
- MARCOTULI I., COLASUONNO P., HSIEH Y.S., FINCHER G.B., GADALETA A.**, 2020. *Non-starch polysaccharides in durum wheat: A review*. International Journal of Molecular Sciences, 21, 2933.
- MARKETSCREENER**, 2023 (October 19). *Algeria's 2023/24 wheat imports estimated at record high*.
- MARTI J., SLAFER G.A.**, 2014. *Bread and durum wheat yields under a wide range of environmental conditions*. Field Crops Research, 156, pp. 258–271.
- MARTIN PREVEL P.**, 1984. *L'analyse végétale dans le contrôle de l'alimentation des plantes tempérées et tropicales*, pp. 653–667.
- MARTÍNEZ-MORENO F., AMMAR K., SOLÍS I.**, 2022. *Global changes in cultivated area and breeding activities of durum wheat from 1800 to date: A historical review*. Agronomy, 12.
- MAUME L., DULAC J.**, 1936. *Échantillonnage rationnel de la plante en vue des analyses*.
- MEKLCHE A.**, 1983. *Contribution à l'établissement de la fertilisation azotée du blé*.
- MEROUCHE A., DEBAEKE P., MESSAHEL M., KELKOULI M.**, 2014. *Response of durum wheat varieties to water in semi-arid Algeria*. African Journal of Agricultural Research, 9, pp. 2880–2893.
- MEZIANI L.**, 1987. *Étude de la croissance et du développement du blé d'hiver (Triticum durum L.) dans différentes conditions de culture*. Thèse Doct. ING, INP Toulouse, 120 p.
- MOULIAS, D.** 1927. *L'eau dans les oasis sahariennes, organisation hydraulique, régime juridique*. Thèse Doc. droit, Univ. Alger, 271 p.
- MOHAMMADI R., HAGHPARAST R.**, 2022. *Durum wheat: Production, nutritional value, and economic importance*. Cereal Biotechnology and Biochemistry, 1(1), pp. 1–9.
- MOULE C.**, 1980. *Les céréales*. Ed. La maison rustique, p. 57.
- ONDO E.O.**, 2014. *Caractérisation d'une collection de variétés anciennes de blé pour leur réponse à la mycorhization et impact sur la qualité du grain*. Thèse de doctorat, Université de Bourgogne.
- ORGANISATION DES NATIONS UNIES POUR L'ALIMENTATION ET L'AGRICULTURE (FAO)**, 2024. *GIEWS Country Brief – La République Algérienne Démocratique et Populaire*. Date de référence : 24 mars 2024.
- OUANZAR S.**, 2012. *Étude comparative de l'effet du semis direct et de labour conventionnel sur le comportement de blé dur*. Thèse de magister, Département de sciences agronomiques, Université Ferhat Abbas Sétif, 6 p.
- OULMI, A., FELLAHI, Z. E. A., FIRAS, K., SELMI, M., BENMEHAMMAD, A., & BOUZEZOUR, H.** (2016). *Étude de la réponse et du comportement des individus de quatre populations de blé dur (Triticum durum Desf.) envers les variables phéno-morpho-physiologiques et agronomiques sous conditions des zones semi-arides*. Agriculture, 7(2), 100–113.
- PETTIGREW W.T.**, 2008. *Potassium influences on yield and quality production for maize, wheat, soybean and cotton*. Physiol Plant, 133, pp. 670–681.

- POBLACIONES M.J., RENGEL Z.**, 2016. *Soil and foliar zinc biofortification in field pea (Pisum sativum L.): grain accumulation and bioavailability in raw and cooked grains*. Food Chem, 212, pp. 427–433.
- PREVOST, P. H.** (1999). *Les bases de l'agriculture*. 2e édition. Paris, France : Éditions (254 p.).
- RABAB B., BOUJEMAÂ J., LARBI L.**, 2022. *Effect of monovalent dopant ionic radius and concentration on the growth orientation and optical properties of the sol–gel-derived ZnO thin films*. Journal of Materials Science: Materials in Electronics, 33(15), pp. 12126–12136.
- REMY J.C., VIAUX P.H.**, 1980. *Evolution des engrais azotés dans le sol*. Perspectives agricoles spéciales fertilisation, décembre n°43, pp. 5–9.
- ROUPHAEL, Y., & COLLA, G.** (2020). Biostimulants en agriculture. *Frontiers in Plant Science*, 11, 40.
- ROUPHAEL, Y., & COLLA, G.** (2020). Biostimulants en agriculture. *Frontiers in Plant Science*, 11, 40.
- ROUVILLOIS, B.** (1975). *Le pays de Ouargla (Sahara Algérien)*. Paris : Département géographique, pp. 318–389.
- SABELLA E., APRILE A., NEGRO C., NICOLI F., NUTRICATI E., VERGINE M., LUVISI A., DE BELLIS L.**, 2020. *Impact of climate change on durum wheat yield*. Agronomy, 10.
- SAINI P., KAUR H., TYAGI V., SAINI P., AHMED N., DHALI WAL H.S., SHEIKH I.**, 2022. *Nutritional value and end-use quality of durum wheat*. Cereal Research Communications, 50(3), pp. 413–425.
- SALLA.T., CHIARI T., LEGESSE W., SEID-AHMED K., ORTIZ R., VAN GINKEL M., BASSI F.M.**, 2019. *Durum wheat (Triticum durum Desf.): Origin, cultivation and potential expansion in Sub-Saharan Africa*. Agronomy, 9.
- SLAFFER, G. A., & RAWSON, H. M.** (1994). Sensibilité du développement phasique du blé aux facteurs environnementaux majeurs : réexamen de certaines hypothèses. *Functional Plant Biology*, 21(6), 393–426.
- SLAFFER, G. A., ABELEDO, L. G., MIRALLES, D. J., GONZÁLEZ, F. G., & WHITECHURCH, E. M.** (2001). Sensibilité au photopériodisme durant l'élongation de la tige comme moyen d'augmenter le rendement potentiel du blé. *Euphytica*, 119(1–2), 191–197.
- SLAFFER, G. A., SAVIN, R., & SADRAS, V. O.** (2014). Blé : écologie et physiologie de la détermination du rendement. *Field Crops Research*, 157, 1–12.
- SOLTNER D.**, 1980. *Les grandes productions végétales*. 11<sup>e</sup> édition, Collection « Sciences et Techniques Agricoles », pp. 15–114.
- SOLTNER D.**, 1988. *Les grandes productions végétales*.
- SOLTNER D.**, 1999. *Les grandes productions végétales. Phytotechnie spéciale*. 19<sup>e</sup> édition, Paris : Collection Sciences et Techniques Agricoles, 464 p.
- TADESSE, M., FIKRE, A., & KEBEDE, W.** (2018). Effect of nitrogen rates on grain protein content of wheat (*Triticum aestivum* L.) varieties under irrigation. *Agriculture & Food Security*, 7(67).
- TANWAR S.P.S., SHAKTAWAT M.S.**, 2003. *Influence of sources, levels and solubilizers on yield, quality and nutrient uptake of soybean (Glycin max)-wheat (Triticum aestivum) cropping system in southern Rajasthan*. Indian J. Agric. Sci., 73, pp. 3–7.
- TAYEB CHERIF NAWAL, R.S.**, 2014. *Évaluation de quelques lignées de blé tendre (Triticum aestivum) dans la région semi-aride de Sétif*. Thèse de doctorat.
- TEDONE L., ALI S.A., MASTRO G.D.**, 2018. *Optimization of nitrogen in durum wheat in the Mediterranean climate: The agronomical aspect and greenhouse gas (GHG) emissions*. In Nitrogen in Agriculture – Updates.
- THÉRON A.**, 1964. *Botanique (classe de 2<sup>e</sup>M)*. Éditions Bordas, pp. 121–141/287.

- TOURTE, Y., BORDONNEAU, M., HENRY, M., TOURTE, C.** (2005). *Le monde des végétaux*. Éditions Dunod, Paris.
- UNSAI CANAY, M., SANAL, T., KOKSEL, H.** (2022). Quality and nutritional characteristics of durum wheats grown in Anatolia. *Quality Assurance and Safety of Crops & Foods*, 14(4), 169–177.
- USDA FOREIGN AGRICULTURAL SERVICE.** (2024). Grain and Feed Update - Algeria. United States Department of Agriculture.
- USDA INTERNATIONAL PRODUCTION ASSESSMENT DIVISION.** (2024). Algeria Wheat Production Summary. United States Department of Agriculture.
- VIAUX.** *IFLA Journal*. journals.sagepub.com, 1981.
- VILAIN, M.** (1987). *La production végétale. Vol 1. Les composantes de la production*. Ed. Lavoisier. Vol. II. Paris-France. 416p.
- WORLD-GRAIN.** (2023, February 21). Algeria's wheat imports to remain elevated.
- XU, N., ZHANG, F. Y., CAO, N., WANG, C., LIU, G. J., LIU, M., SUN, X. H.** (2018). The effect of silicon foliar fertilizer on the rhizosphere soil microecology in the wheat-maize system. *J Anhui Agric Univ*, 45:363–366 (in Chinese).
- XYNIAS, I. N., MYLONAS, I., KORPETIS, E. G., NINO, E., TSABALLA, A., AVDIKOS, I. D., MAVROMATIS, A. G.** (2020). Durum wheat breeding in the Mediterranean region: Current status and future prospects. *Agronomy*, 10.
- YOUCEF, N.** (2009). Effets de la durée de prétraitements sur la vigueur de la semence du blé dur (*Triticum durum*) variété MBB. Mémoire ING, Batna, pp. 12–26.
- ZALANI, A.** (2019). Étude de l'effet de la fertilisation chez le blé dur (*Triticum durum* Desf.) [Mémoire de Master, Université 8 Mai 1945 Guelma]. DSpace Université de Guelma.
- ZHANG, L., & CHAO, Y.** (2011). Water requirements for wheat growth in arid and semi-arid regions. *Agricultural Water Management*, 98(1), 123-131.
- ZHANG, X., CHEN, J., WANG, L., & LI, Y.** (2020). Distribution and dynamics of soil nitrogen in arid and semi-arid regions: Implications for nutrient management. *Journal of Arid Environments*, 182, 104247.
- ZHENG, C. S. et al.** (2018). Effects of foliar nitrogen applications on the absorption of nitrate nitrogen by cotton roots. *Cotton Sci*, 30:338–343 (in Chinese).
- ZOUAOU, M.** (1993). Contribution à l'étude de l'interaction génotype × milieu pour la qualité technologique chez le blé dur en Algérie. Mémoire de Magistère, Université de Sétif.
- TUTIEMPO NETWORK.** (2025). *Climat Ouargla janvier 2025*. Consulté le 24 mai 2025, à l'adresse : <https://fr.tutiempo.net/climat/01-2025/ws-605800.html>

# **Annexe**

## Annexe :01

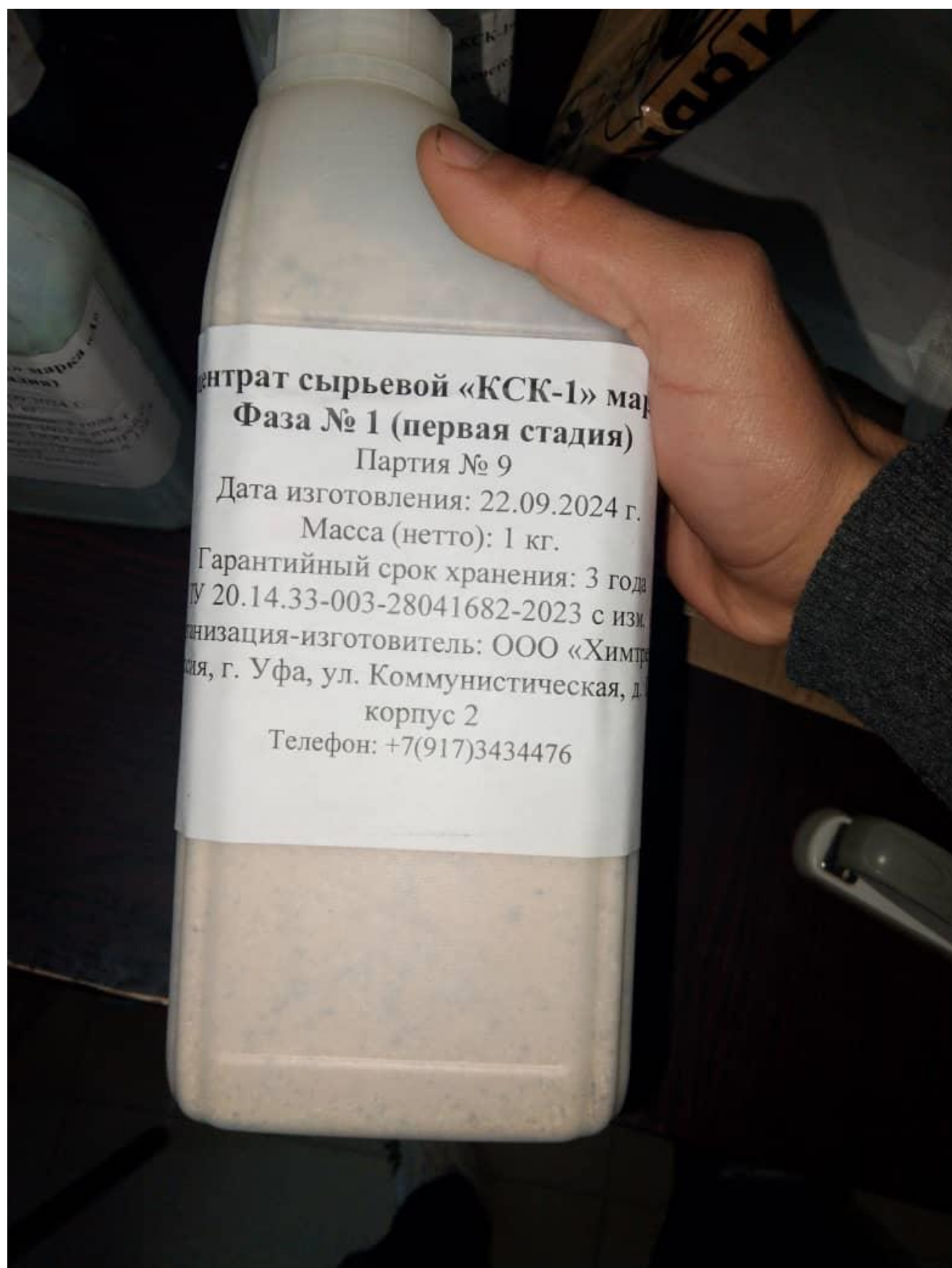
**Tableau 01** : Composition chimique de « Biostimulant (Mark B-1 Plus) ».

| Produit 03          | Nom commercial | Type                                                 | Forme                                 | Composition chimique                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     | Dose/ha                                                                 |
|---------------------|----------------|------------------------------------------------------|---------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------|
| <b>Biostimulant</b> | Mark B-1 Plus  | Stimulant liquide du système immunitaire des plantes | Liquide, hautement soluble dans l'eau | <p>Le produit Mark B-1 Plus est un <b>biostimulant spécialisé</b> formulé pour <b>stimuler les défenses naturelles</b> des plantes.</p> <p>Contient :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Un <b>complexe activateur immunitaire</b></li> <li>• Des <b>additifs synergiques</b> pour augmenter la biodisponibilité et l'efficacité du produit</li> <li>• Agit en tant que <b>déclencheur des mécanismes de défense</b> face aux stress biotiques (maladies, parasites) et abiotiques (sécheresse, froid, salinité...)</li> </ul> | <p>15 à 20 g par hectare</p> <p>Très faible dose, efficacité élevée</p> |

**Tableau 02 :** Composition chimique des « Biostimulants ».

| Produit      | Nom commercial          | Type                                                           | Forme                                          | Composition chimique                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      | Dose/ha          |
|--------------|-------------------------|----------------------------------------------------------------|------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------|
| Biostimulant | Mark A<br>Dry OMU       | Engrais minéral de <b>grade A mondial</b> , soluble dans l'eau | Poudre sèche, soluble à 100 %                  | <b>Éléments principaux :</b><br>Azote (N), Phosphore (P), Potassium (K)<br><b>Microéléments :</b> Fer (Fe), Zinc (Zn), Manganèse (Mn), Cuivre (Cu), Bore (B), Molybdène (Mo)<br><b>Substances bioactives :</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Humates naturels</b></li> <li>• <b>Acides aminés</b></li> <li>• <b>Vitamines</b></li> <li>• <b>Stimulants de croissance</b></li> <li>• <b>Stimulants du système</b></li> <li>• <b>Immunitaire des plantes</b></li> </ul>       | 1 à 2 kg/hectare |
|              | Mark B<br>Liquide<br>OU | Engrais <b>organique complet</b> (Grade B)                     | Liquide, <b>entièrement soluble dans l'eau</b> | <b>Substances organiques actives :</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Glucosides naturels</li> <li>• Humates (de potassium ou sodium)</li> <li>• Acides fulviques</li> <li>• Composés bioactifs monomériques</li> <li>• Acides aminés</li> <li>• Bétaïnes</li> <li>• Vitamines</li> <li>• Éléments traces (microéléments) : Zn, Mn, Cu, B, Fe...</li> <li>• Stimulants physiologiques : Renforcent le développement végétatif et les défenses naturelles des plantes</li> </ul> | 1 à 3 kg/hectare |





концентрат сырьевой «КСК-1» мар

**Фаза № 3 (третья стадия)**

Партия № 9

Дата изготовления: 22.09.2024 г.

Масса (нетто): 1 кг.

Гарантийный срок хранения: 3 года

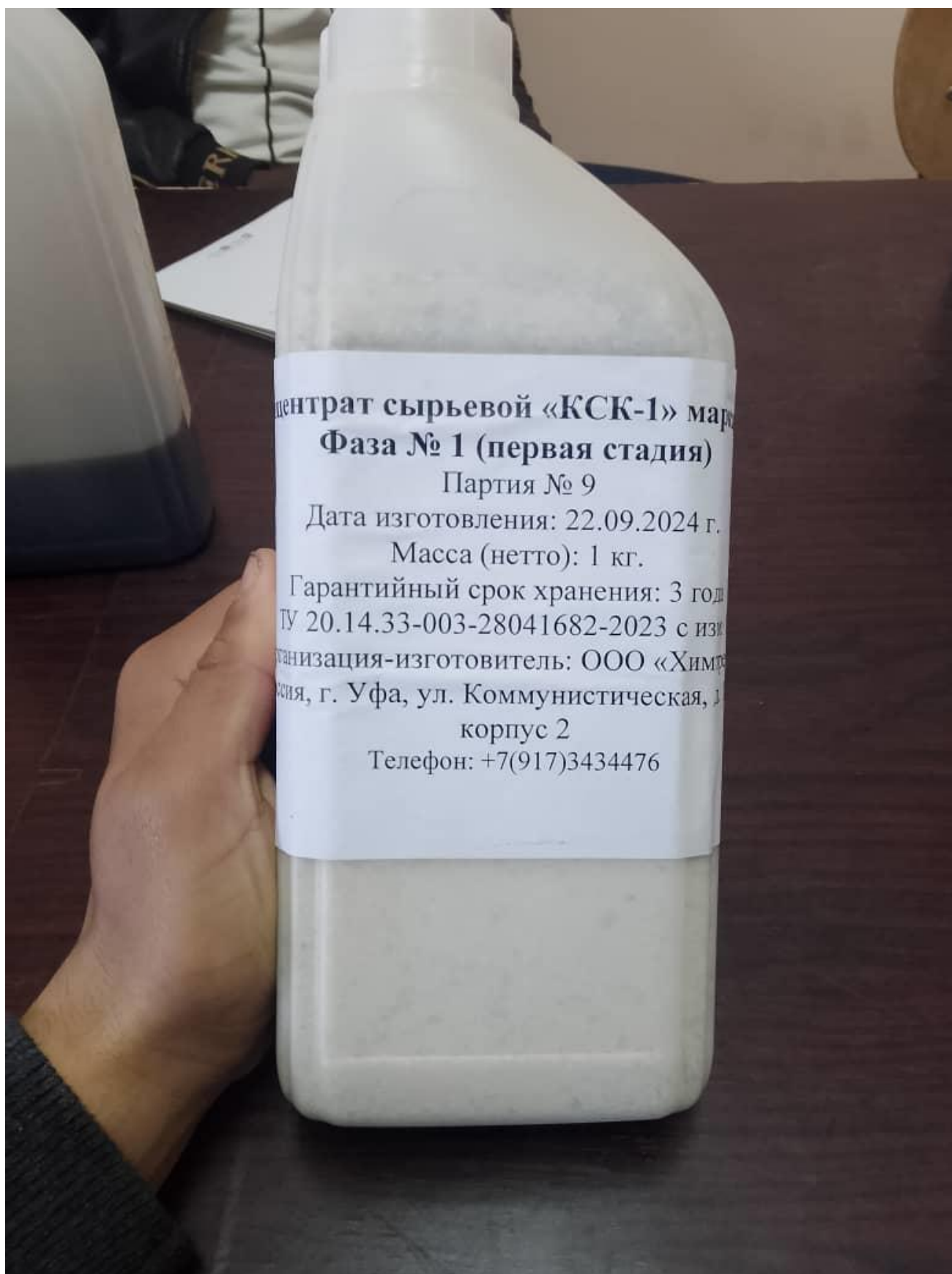
У 20.14.33-003-28041682-2023 с из

низация-изготовитель: ООО «Хим

ия, г. Уфа, ул. Коммунистическая,

корпус 2

Телефон: +7(917)3434476



концентрат сырьевой «КСК-1» мар

**Фаза № 1 (первая стадия)**

Партия № 9

Дата изготовления: 22.09.2024 г.

Масса (нетто): 1 кг.

Гарантийный срок хранения: 3 года

ТУ 20.14.33-003-28041682-2023 с изм.

Организация-изготовитель: ООО «Хим

сия, г. Уфа, ул. Коммунистическая, 1

корпус 2

Телефон: +7(917)3434476

## **Catalogue des engrais et additifs**

### **1. Engrais universel de grade A à base minérale**

Dénomination sur demande : Grade A sec OMU, soluble dans l'eau.

Utilisé en fertilisation d'irrigation pour les plantes à l'état végétatif au stade de 3-4 vraies feuilles (bourgeons), avant la floraison et pendant la formation des fruits. Contient un complexe NPK enrichi en oligo-éléments, humates, acides aminés, vitamines, stimulateurs de croissance et activateurs du système immunitaire. Peut être utilisé seul ou avec des engrais organiques et des pesticides.

Consommation : 1–2 kg/ha

### **2. Engrais universel de grade B à base organique**

Dénomination sur demande : Grade B liquide OU, soluble dans l'eau.

Utilisé aux mêmes stades que le grade A, soit conjointement avec ce dernier, soit seul, ou encore avec des engrais minéraux d'autres fabricants et des pesticides. Contient des glucosides, humates, acides fulviques, composés bioactifs simples, acides aminés, bêtaïnes, vitamines, oligo-éléments, et substances actives stimulant les fonctions de protection et de croissance des cultures.

Consommation : 1–3 kg/ha

### **3. Stimulant du système immunitaire des cultures – Grade B-1**

Dénomination sur demande : Grade B-1, activateur liquide, soluble dans l'eau.

Active le système immunitaire des plantes sous stress, en conditions environnementales défavorables, déficit hydrique, présence de pathogènes ou ravageurs. Soluble dans l'eau, utilisé en enrobage de semences pour stimuler la germination et le développement végétatif précoce. S'utilise aussi pendant la végétation avec les engrais grade A (sec) et grade B (liquide). Pénètre rapidement les plantes par pulvérisation ou fertilisation, stimule la production de phytoalexines, renforçant les défenses des plantes. Accroît la résistance à la sécheresse, chaleur, gel et agents pathogènes. Peut être utilisé seul ou avec engrais et pesticides. Favorise la récupération après traitement herbicide ou stress environnemental.

Consommation : 20 g/ha

### **4. Stimulant immunitaire renforcé – Grade B-1 plus**

Dénomination sur demande : Grade B-1 Plus, activateur liquide, soluble dans l'eau.

Variante enrichie du B-1, avec additifs pour renforcer l'efficacité du produit.

Consommation : 15–20 g/ha

### **5. Activateur des processus végétatifs – Grade B-4**

Dénomination sur demande : Grade B-4, activateur liquide, soluble dans l'eau.

Utilisé pour l'enrobage des semences ou pendant la végétation avec engrais/pesticides ou seul. Réduit l'usage d'engrais et pesticides, stimule la croissance de la partie aérienne des plantes via l'effet cytokinine.

Consommation : 1 g/ha

#### **6. Stimulant du couvert végétal à effet répulsif – Grade B-6**

Dénomination sur demande : Grade B-6, stimulant liquide, soluble dans l'eau.

Stimule la croissance des plantes tout en agissant comme répulsif contre les insectes nuisibles et fongicide. Utilisable en traitement des semences, pulvérisation foliaire, fertilisation, seul ou avec des produits complexes.

Consommation : 20 g/ha en plein champ

#### **7. Stimulant du système racinaire et des plantes – Grade B-14**

Dénomination sur demande : Grade B-14, stimulant liquide, soluble dans l'eau.

Similaire au B-4, mais avec un effet renforcé sur le développement du système racinaire, particulièrement efficace au début de la végétation. Utilisable seul ou avec des engrais complexes.

Consommation : 1 g/ha en plein champ

#### **8. Stimulant de la floraison et maintien des bourgeons en conditions extrêmes – Grade B-11**

Dénomination sur demande : Grade B-11, activateur liquide, soluble dans l'eau.

Produit sur commande pour certaines cultures spécifiques.

Consommation : 1 g/ha en plein champ

#### **9. Stimulant de synchronisation et d'accélération de la maturation des fruits – Grade B-12**

Dénomination sur demande : Grade B-12, stimulant liquide, soluble dans l'eau.

Produit sur commande pour certaines cultures spécifiques.

Consommation : 1 g/ha en plein champ

#### **10. Engrais de qualité spéciale – Grade A sec, Phase 1**

Dénomination sur demande : Grade A Phase 1, engrais sec OMU, soluble dans l'eau.

Engrais organo-minéral destiné à la première phase du développement végétatif. Contrairement au grade A universel, il contient un complexe NPK équilibré adapté aux premiers stades de croissance.

Consommation : 1 kg/ha

## Annexe :02

**Tableau 03 : Données climatiques mensuelles de la région de Ouargla (janvier – avril 2025)**

| Mois    | T°<br>Max (°C) | T°<br>Min (°C) | T°<br>Moy (°C) | P<br>(mm) | H<br>(%) | V<br>(m/s) | I (h) | E.V.<br>(mm) |
|---------|----------------|----------------|----------------|-----------|----------|------------|-------|--------------|
| Janvier | 19             | 11             | 15             | 1         | 56       | 5.3        | 10.5  | 99.2         |
| Février | 20             | 12             | 16             | 1         | 55       | 5.3        | 11.1  | 106.4        |
| Mars    | 27             | 16             | 21             | 2         | 41       | 6.4        | 11.9  | 155          |
| Avril   | 31             | 18             | 25             | 2         | 37       | 5.0        | 12.9  | 195          |

## Annexe :03

**Tableau 04 : Analyse de la variance (Exp N (kg/ha))**

| Source        | DDL | Somme des carrés | Moyenne des carrés | F     | Pr > F |
|---------------|-----|------------------|--------------------|-------|--------|
| Modèle        | 2   | 3383,693         | 1691,847           | 8,808 | 0,016  |
| Erreur        | 6   | 1152,493         | 192,082            |       |        |
| Total corrigé | 8   | 4536,186         |                    |       |        |

**Tableau 05 Analyse de la variance ([N] grains%) :**

| Source        | DDL | Somme des carrés | Moyenne des carrés | F     | Pr > F |
|---------------|-----|------------------|--------------------|-------|--------|
| Modèle        | 2   | 0,049            | 0,025              | 2,843 | 0,135  |
| Erreur        | 6   | 0,052            | 0,009              |       |        |
| Total corrigé | 8   | 0,101            |                    |       |        |

**Tableau 06 : Analyse de la variance (épillets/épi) :**

| Source        | DDL | Somme des carrés | Moyenne des carrés | F     | Pr > F |
|---------------|-----|------------------|--------------------|-------|--------|
| Modèle        | 2   | 6,797            | 3,398              | 3,845 | 0,030  |
| Erreur        | 37  | 32,703           | 0,884              |       |        |
| Total corrigé | 39  | 39,500           |                    |       |        |

**Tableau 07 : Analyse de la variance (HT (cm)) :**

| Source        | DDL | Somme des carrés | Moyenne des carrés | F     | Pr > F |
|---------------|-----|------------------|--------------------|-------|--------|
| Modèle        | 2   | 45,088           | 22,544             | 0,975 | 0,386  |
| Erreur        | 42  | 970,969          | 23,118             |       |        |
| Total corrigé | 44  | 1016,058         |                    |       |        |

**Tableau 08 : Analyse de la variance (Lépi (cm)) :**

| Source        | DDL | Somme des carrés | Moyenne des carrés | F     | Pr > F |
|---------------|-----|------------------|--------------------|-------|--------|
| Modèle        | 2   | 1,470            | 0,735              | 3,434 | 0,042  |
| Erreur        | 39  | 8,346            | 0,214              |       |        |
| Total corrigé | 41  | 9,816            |                    |       |        |

**Tableau 09 : Analyse de la variance (Hplt entière) :**

| Source        | DDL | Somme des carrés | Moyenne des carrés | F     | Pr > F |
|---------------|-----|------------------|--------------------|-------|--------|
| Modèle        | 2   | 11,218           | 5,609              | 0,256 | 0,776  |
| Erreur        | 40  | 877,518          | 21,938             |       |        |
| Total corrigé | 42  | 888,737          |                    |       |        |

**Tableau 10 : Analyse de la variance (PMG (g)) :**

| Source        | DDL | Somme des carrés | Moyenne des carrés | F     | Pr > F |
|---------------|-----|------------------|--------------------|-------|--------|
| Modèle        | 2   | 59,159           | 29,579             | 7,721 | 0,004  |
| Erreur        | 19  | 72,786           | 3,831              |       |        |
| Total corrigé | 21  | 131,945          |                    |       |        |

**Tableau 11 : Analyse de la variance (RDT (q/ha)) :**

| Source        | DDL | Somme des carrés | Moyenne des carrés | F     | Pr > F |
|---------------|-----|------------------|--------------------|-------|--------|
| Modèle        | 2   | 120,471          | 60,236             | 0,150 | 0,862  |
| Erreur        | 21  | 8442,083         | 402,004            |       |        |
| Total corrigé | 23  | 8562,554         |                    |       |        |

**Tableau 12 : Analyse de la variance (Biomasses sec) :**

| Source        | DDL | Somme des carrés | Moyenne des carrés | F     | Pr > F |
|---------------|-----|------------------|--------------------|-------|--------|
| Modèle        | 2   | 15567,153        | 7783,576           | 0,706 | 0,505  |
| Erreur        | 21  | 231638,758       | 11030,417          |       |        |
| Total corrigé | 23  | 247205,911       |                    |       |        |

**Tableau 13 : Analyse de la variance (Nombre de plante /m²) :**

| Source        | DDL | Somme des carrés | Moyenne des carrés | F     | Pr > F |
|---------------|-----|------------------|--------------------|-------|--------|
| Modèle        | 2   | 5935,421         | 2967,711           | 1,088 | 0,353  |
| Erreur        | 24  | 65479,764        | 2728,323           |       |        |
| Total corrigé | 26  | 71415,185        |                    |       |        |



**Tableau 14 : Statistiques descriptives (Données quantitatives) :**

| Variable   | Observations | Obs. avec données manquantes | Obs. sans données manquantes | Minimum | Maximum | Moyenne | Ecart-type |
|------------|--------------|------------------------------|------------------------------|---------|---------|---------|------------|
| Grains/épi | 45           | 0                            | 45                           | 20,000  | 49,000  | 32,822  | 5,610      |

## Annexe :04

**Tableau 15 : Programme de fertilisation par éléments majeurs selon les stades de développement de la culture de blé dur (Triticum durum Desf.):**

| Stade de<br>phénologique       | Les éléments majeurs (Kg/ha)   |        |       |                                  |      |      | Nom<br>commercial                                                                 | Mode<br>d'application |
|--------------------------------|--------------------------------|--------|-------|----------------------------------|------|------|-----------------------------------------------------------------------------------|-----------------------|
|                                | Macro-nutriment<br>(Primaires) |        |       | Macro-nutriment<br>(secondaires) |      |      |                                                                                   |                       |
|                                | (N)                            | (P)    | (K)   | (S)                              | (Mg) | (Ca) |                                                                                   |                       |
| Germination<br>(Semis → Levée) | 20                             | 90     | 37,5  | 32,5                             | 0    | 0    | Weatfert                                                                          | Incorporé au<br>sol   |
| Levée                          | 53,74                          | 18,85  | 5,69  | 43,68                            | 0,33 | 0,00 | AZOSUL<br>Startsul<br>Weatfert<br>Humax<br>Tradecourp<br>ant Humax<br>Fertyfer+MO | Par pondeur           |
| Tallage                        | 19,80                          | 0,00   | 0,00  | 7,73                             | 0,00 | 0,00 | Uréé 46<br>AZOSUL                                                                 | Par pondeur           |
| Montaison                      | 5,22                           | 2,88   | 28,64 | 24,50                            | 0,00 | 0,00 | Humax<br>Finalsol                                                                 | Par pondeur           |
| Épiaison                       | 15,47                          | 2,27   | 22,66 | 19,83                            | 0,00 | 0,00 | Uréé 46<br>Finalsol                                                               | Ferti irrigation      |
| Remplissage des<br>grains      | 8,36                           | 1,46   | 4,63  | 2,85                             | 0,02 | 0    | Uréé 46<br>Finalsol<br>Humax<br>Startsul                                          | Ferti irrigation      |
| Quantité totale                | 122,59                         | 115,46 | 99,12 | 131,09                           | 0,35 | 0    |                                                                                   |                       |

**Tableau 16 : Quantité d'eau apportée (en mm) durant les stades de développement de la culture de blé dur (*Triticum durum* Desf.)**

| <b>Stade de développement</b>          | <b>La datte</b> | <b>Nombre de jours</b> | <b>La quantité d'eaux apporté/mm</b> |
|----------------------------------------|-----------------|------------------------|--------------------------------------|
| <b>Germination<br/>(Semis → Levée)</b> | 07/01/2025      | 0 - 09                 | 109,44                               |
| <b>Levée</b>                           | 17/01/2025      | 10 – 33                | 291,84                               |
| <b>Tallage</b>                         | 10/02/2025      | 34 - 55                | 75,27                                |
| <b>Montaison</b>                       | 04/03/2025      | 56 - 69                | 37,31                                |
| <b>Épiaison</b>                        | 18/03/2025      | 70 - 77                | 31,98                                |
| <b>Maturation</b>                      | 25/03/2025      | 77- 104                | 149,24                               |
|                                        |                 |                        | <b>695,08</b>                        |

**Tableau 18 : Statistiques descriptives de L'épi (cm) (Données quantitatives)**

| Variable   | Observations | Obs. avec données manquantes | Obs. sans données manquantes | Minimum | Maximum | Moyenne | Ecart-type |
|------------|--------------|------------------------------|------------------------------|---------|---------|---------|------------|
| L'épi (cm) | 45           | 0                            | 45                           | 4,000   | 7,000   | 5,791   | 0,607      |