

République Algérienne Démocratique et Populaire  
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la  
Recherche Scientifique  
Université de Blida -1-  
Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie



**Mémoire de fin d'étude**

**En vue d'obtention du diplôme de Master**

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

**Filière** : Sciences Biologiques

**Spécialité** : Biodiversité et Physiologie Végétale

**Thème**

**Comparaison morpho-phénologique et agro-physiologique de dix lignées de blé dur (*Triticum durum Desf*) dans la région de Mitidja**

**Réalisé par : Mlle Ghebghoub Fatma Zohra et Mlle Khennous Ikram**

Soutenu le 01/07/2025 devant le jury composé de :

Dr. BENSSALAH.L	MAA	Présidente	Université de Blida 1
Dr. BENASSEL.N	MAA	Examinatrice	Université de Blida 1
Pr. ROUIBLA	Professeur	Promoteur	Université de Blida 1
Dr. BACHIRI.H	MRB	Co-promoteur	INRAA

**Année universitaire 2024 – 2025**

## Remerciements

Louange à Allah, le Tout-Puissant, qui nous a accordé la force, la patience et la volonté d'entamer, de poursuivre et d'achever ce travail. Sans Sa miséricorde et Son soutien, rien n'aurait été possible.

Nous exprimons notre sincère gratitude à notre encadreur, Monsieur **ROUIBI**, pour la confiance qu'il nous a accordée dès le début, pour avoir accepté de diriger ce travail, et pour nous avoir accompagnés avec compétence et dévouement. Sa disponibilité, ses orientations précieuses et son suivi rigoureux nous ont été d'un grand soutien.

Nos remerciements vont également à notre co-encadreur, Monsieur **BACHIRI**, pour son implication active, sa générosité intellectuelle, ses conseils pertinents et ses remarques enrichissantes qui ont grandement contribué à l'élaboration de ce mémoire et à la clarté du thème abordé.

Nous tenons à remercier l'ensemble des enseignants de la spécialité Biodiversité et Physiologie Végétale, notamment Madame **BENSSALAH** et Madame **BENASSEL**, pour leurs conseils, et leur partage d'expérience et les informations précieuses fournies tout au long de notre parcours.

Nous souhaitons également exprimer notre profonde reconnaissance à l'Institut National de la Recherche Agronomique d'Alger (INRAA, Baraki), pour les moyens techniques et logistiques mis à notre disposition, et sans lesquels notre travail n'aurait pas pu aboutir.

Enfin, nous adressons un grand merci à toutes les personnes, de près ou de loin, qui ont contribué à la réalisation de ce mémoire, par un mot d'encouragement, un geste, un conseil ou un sourire.



## Dédicace

À mon très cher père **Ahmed**,

Toi qui m'as appris la valeur de l'engagement, la force du travail honnête et la responsabilité. Ton amour, ta rigueur et ton soutien ont été les fondations silencieuses de mon chemin. Ce travail t'est dédié, en hommage à tes sacrifices.

À ma douce mère Fatima **Zahra**,

Ton amour inconditionnel, ta tendresse infinie et tes prières ont été mon repère dans chaque détour de ce parcours. Tu as planté en moi l'amour du savoir, la force de croire et la patience de poursuivre. Que Dieu te protège et t'accorde une vie longue et sereine.

À mes frère et sœurs : **Sarah, Bilal et Bouthaina**,

Merci pour votre présence rassurante et vos encouragements discrets mais profonds. Vous êtes une part précieuse de mon équilibre.

À mon amie fidèle, ma complice et sœur de cœur, **Baya**,

Merci pour ta présence constante, ton écoute sincère et ta lumière dans les moments d'ombre comme dans ceux de joie. Ton amitié est un trésor.

À ma chère binôme **Fatima**

Partenaire de tous les défis, des rires et des larmes, merci pour ta bienveillance, ton énergie et tous les souvenirs partagés durant ce long voyage universitaire.

À toute ma famille, **Khennous** Et à chaque personne — proche ou de passage — qui a touché mon cœur par une parole douce ou un geste bienveillant, et y a laissé une trace indélébile. Merci à vous tous, du fond du cœur.

## Dédicace

### À moi-même

Pour toutes les nuits blanches, les moments de doute surmontés, les larmes silencieuses, les sourires forcés, et chaque pas fait vers ce rêve...  
Je dédie ces fruits à moi-même, en reconnaissance des efforts, des épreuves et des sacrifices que j'ai affrontés.

### À la mémoire de mon **cher père**

Tu es parti, mais ta présence ne m'a jamais quittée.

Tu as semé, et aujourd'hui, j'ai récolté.

Ce travail est l'aboutissement de tes prières, de tes valeurs et de ton amour.

Repose en paix, Papa.

### À ma douce **maman**

Merci pour ta patience, tes sacrifices, et ton amour inconditionnel. Tu as été ma force quand je faiblissais.

### À mon frère **Walid**

Pour ton soutien discret mais puissant, et ta présence rassurante.

### À mes sœurs **Radhia** et **Meriem**

Pour vos encouragements, vos prières et votre amour constant.

### À ma chère amie **Ikram**

Merci pour ta présence fidèle, ton soutien sincère, et tes mots qui m'ont portée quand j'en avais le plus besoin.

Et enfin À toutes les personnes qui ont contribué de près ou de loin à l'accomplissement de ce mémoire ne serait-ce qu'avec un mot gentil ou une pensée bienveillante notamment **Mohamed**, **Walid** et **Meriem**, que Dieu vous récompense pour votre présence et votre gentillesse.

## Résumé

Face aux changements climatiques actuels, l'amélioration de la productivité du blé dur (*Triticum durum Desf*) dans les zones subhumides constitue une priorité stratégique pour renforcer la sécurité alimentaire en Algérie. Ce travail vise à comparer dix génotypes de blé dur, comprenant neuf lignées expérimentales d'origine mexicaine (V3, V6, V8, V12, V16, V17, V18, V19, V23) et une variété locale de référence, Simeto (utilisée comme témoin), cultivés à la station expérimentale de recherche agronomique de l'INRAA à Baraki. L'évaluation s'est menée sur la base des critères morpho-phénologiques, physiologiques et agronomiques, afin d'identifier les génotypes les plus adaptés et productifs dans les conditions subhumides. Les résultats ont mis en évidence deux génotypes prometteurs, à savoir V12 et Simeto, qui ont affiché des performances agronomiques et physiologiques supérieures. V12 s'est distingué par une précocité au stade d'épiaison avec 106,33 jours, un indice de végétation NDVI de 0,5133, une hauteur de plante de 84,33 cm et une longueur d'épi de 9,72 cm, traduisant une bonne vigueur végétative. De son côté, Simeto, en tant que variété témoin, a enregistré la teneur en chlorophylle la plus élevée (81,17 SPAD), un nombre moyen de grains par épi de 52,93 grains, ainsi qu'un poids de mille grains (PMG) de 64,49 g, mettant en évidence sa stabilité et son potentiel de rendement élevé. Ces génotypes pourraient constituer une base précieuse pour de futurs programmes d'amélioration variétale en Algérie.

Mots-clés : Blé dur, génotypes, rendement, adaptation, conditions subhumides, amélioration Variétale

## **Abstract**

In the face of current climate change, improving the productivity of durum wheat (*Triticum durum Desf*) in sub-humid zones represents a strategic priority to strengthen food security in Algeria. This study aims to compare ten durum wheat genotypes, including nine experimental lines of Mexican origin (V3, V6, V8, V12, V16, V17, V18, V19, V23) and a local reference variety, Simeto (used as a control), grown at the INRAA agronomic research experimental station in Baraki. The evaluation was conducted based on morpho-phenological, physiological, and agronomic criteria to identify the most adapted and productive genotypes under sub-humid conditions. The results highlighted two promising genotypes, namely V12 and Simeto, which exhibited superior agronomic and physiological performances. V12 stood out for its early heading stage (106.33 days), a vegetation index (NDVI) of 0.5133, a plant height of 84.33 cm, and a spike length of 9.72 cm, indicating good vegetative vigor. Simeto, as the control variety, recorded the highest chlorophyll content (81.17 SPAD), an average number of grains per spike of 52.93 grains, and a thousand grain weight (TGW) of 64.49 g, demonstrating its stability and high yield potential. These genotypes may represent a valuable foundation for future varietal improvement programs in Algeria.

Keywords: Durum wheat, genotypes, yield, adaptation, sub-humid conditions, varietal improvement

## المخلص

في ظل التغيرات المناخية الحالية، تُعدّ زيادة إنتاجية القمح الصلب (*Triticum durum Desf*) في المناطق شبه الرطبة أولوية استراتيجية لتعزيز الأمن الغذائي في الجزائر. يهدف هذا العمل إلى مقارنة عشرة أنماط وراثية من القمح الصلب، تشمل تسع سلالات تجريبية ذات أصل مكسيكي (V3)، V6، V8، V12، V16، V17، V18، V19، و V23) ، وصنفًا محليًا معتمدًا كمجموعة شاهدة، وهو Simeto حيث زُرعت جميعها في المحطة التجريبية للمعهد الوطني للبحث الزراعي (INRAA) في براق في إجراء التقييم بالاعتماد على معايير مورفولوجية و فينولوجية و فسيولوجية وزراعية، بهدف تحديد الأنماط الوراثية الأكثر تكيفًا وإنتاجية في ظروف المناطق شبه الرطبة. وقد أظهرت النتائج نمطين وراثيين واعدين، هما V12 و Simeto للذان تميزا بأداء زراعي و فسيولوجي متفوق. فقد تميز V12 بتكبير في مرحلة الإنبال (106.33) يومًا، ومؤشر غطاء نباتي NDVI بلغ 0.5133 وارتفاع نبات قدره 84.33 سم، وطول سنبله بلغ 9.72 سم، مما يعكس حيوية خضرية جيدة. س 'جل Simeto بصفته الصنف الشاهد، أعلى نسبة كلوروفيل (SPAD 81.17) وعددًا متوسطًا من الحبوب في السنبله بلغ 52.93 حبة، ووزن ألف حبة بلغ 64.49 غرامًا، مما يدل على استقراره وإمكاناته العالية من حيث الإنتاجية. يمكن أن تمثل هذه الأنماط الوراثية أساسًا هامًا لبرامج التحسين الوراثي المستقبلية في الجزائر.

الكلمات المفتاحية: القمح الصلب، الأنماط الوراثية، الإنتاجية، التكيف، الظروف شبه الرطبة، التحسين الوراثي..

# SOMMAIRE

Mémoire de fin d'étude .....	1
Thème.....	1
Remerciements .....	2
Dédicace.....	3
Dédicace.....	4
Résumé.....	5
SOMMAIRE .....	8
Liste des tableaux.....	13
Liste des abréviations .....	14
Introduction .....	15
Introduction .....	16
Partie bibliographique.....	2
1. Histoire et l'origine géographique de blé dur .....	3
2. Origine génétique du blé dur.....	3
3. Importance du blé dur .....	4
3.1 l'échelle mondiale .....	4
3.2 En Algérie .....	4
4. Description morphologique du blé dur (Triticum durum) .....	4
4.1 Appareil végétatif .....	4
4.1.1 Racines .....	4
4.1.2 Tige.....	5
4.1.3 Feuille .....	5
4.2 Appareil reproducteur .....	5
4.2.1 Fleur .....	5
4.2.2 Fruit (le grain).....	5
5. Classification du blé dur .....	6
6. Composition chimique de grain de blé dur .....	6
7. Cycle de développement du blé dur.....	7
7.1 Période végétative.....	7
7.1.1 Semis et levée (automne) .....	7

7.1.2 Tallage .....	7
7.1.3 Montaison .....	7
7.2 Période de reproduction.....	7
7.2.1 Initiation de l'épi.....	8
7.2.2 Épiaison et floraison.....	8
7.2.3 Maturation du grain.....	8
7.2.4 La sénescence.....	8
8. Exigences pédoclimatiques de Blé dur .....	9
8.1 La température .....	9
8.2 L'eau .....	9
8.3 La lumière .....	10
8.4 Le sol .....	10
9. Les composantes du rendement .....	10
9.1 Nombre d'épis par m <sup>2</sup> .....	10
9.2 Le nombre de grains par épi .....	11
9.3 Le poids de mille grains .....	11
10. Amélioration du blé dur.....	11
10.1 Stratégie d'amélioration de blé dur .....	12
10.1.1 Sélection massale de blé dur .....	12
10.1.2 Sélection par des marqueurs génétique .....	12
10.2 Croisement et hybridation.....	12
Matériel et Méthodes .....	13
1. Lieu de travail .....	14
2. objective de travail .....	14
3. Matériel végétal.....	14
4. Dispositif expérimental.....	15
5. Désherbage .....	16
5.1. Désherbage manuel et mécanique.....	16
5.2. Désherbage chimique .....	17
6. Fertilisation .....	18
7. Paramètres mesurés .....	18
7.1. Paramètres phénologiques.....	18
7.2. Paramètres physiologiques.....	18
7.2.1 Teneur en chlorophylle totale.....	18

<b>7.2.2</b>	Mesure de l'Indice de Végétation par Différence Normalisée (NDVI) .....	19
<b>7.2.3</b>	Teneur Relative en Eau (TRE).....	20
<b>7.2.4</b>	Extraction et dosage des protéines totales foliaires .....	21
<b>7.2.4.1</b>	Échantillonnage .....	21
<b>7.3</b>	Paramètres morphologiques .....	23
<b>7.3.1</b>	Hauteur de la plante.....	23
<b>7.3.2</b>	Longueur d'épi .....	23
<b>7.4</b>	Paramètres agronomiques .....	24
<b>7.4.1</b>	Nombre d'épi par m <sup>2</sup> .....	24
<b>7.4.2</b>	Nombre de grains par épi.....	24
<b>7.4.3</b>	Récolte .....	24
<b>7.4.4</b>	Poids de mille grains (PMG) .....	24
6.4.5	Rendement en grains .....	24
<b>8.</b>	Analyse statistique.....	25
	RESULTATSET DISCUSSION.....	26
1.	Paramètres phénologiques .....	27
1.1.	La précocité a l'épiaison.....	27
2.	Paramètres physiologiques .....	28
2.1.	Teneur en chlorophylle totale.....	28
2.2.	Indice de Végétation par Différence Normalisée (NDVI).....	29
2.3.	Teneur Relative en Eau (TRE).....	30
2.4.	La teneur en protéines (mg/g MF) .....	31
3.	Les paramètres morphologiques .....	32
3.1.	Hauteur de la plante .....	32
3.2.	Longueur d'épi.....	33
4.	Les paramètres Agronomiques .....	33
4.1.	Nombre d'épis par m <sup>2</sup> .....	33
4.2.	Nombre de grains par épi.....	34
4.3.	Poids de mille grains (PMG).....	35
4.4.	Rendement en grains .....	36
	Conclusion.....	38
	Références bibliographiques .....	40
	ANNEXES .....	48
	Résultats des paramètres phénologiques et physiologique.....	49

Résultats des paramètres morphologiques et agronomiques .....	50
Préparation de Réactif de Bradford .....	51
Préparation du tampon d'extraction .....	52

## Table des figures

Figure 1 : évolution génétique du blé dur à travers les hybridations naturelles (GIE Blé Dur, 2017).....	3
Figure 2 : Morphologie générale du blé dur : organes végétatifs et reproducteurs (Louisa Paulin-Haute.Garonne) .....	6
Figure 3 : cycle de développement du blé (Sabella et al 2020).....	9
Figure 4 : Institut National de la Recherche Agronomique d'Algérie BARAKI (2025).....	14
Figure 5 : Dispositif expérimental (bloc aléatoire complet) .....	16
Figure 6 : photos prises au moment du Désherbage manuel (INRAA 2025).....	17
Figure 7 : opération de désherbage chimique au cours d'utilisation du pulvérisateur .....	17
Figure 8 : Application de l'herbicide contre les dicotylédones Desormone lourd D .....	17
Figure 9: Opération de fertilisation (INRAA, 2025).....	18
Figure 10 : chlorophylle-mètre SPAD (INRAA, 2025).....	19
Figure 11 : Appareil GreenSeeker (INRAA BRAKI 2025) .....	19
Figure 12 : interférence des mauvaises herbes lors de la mesure du NDVI (INRAA BARAKI 2025) .....	20
Figure 13 : Etapes de détermination de la TRE (INRAA, 2025).....	21
Figure 14 : Extraction et dosage des protéines (INRAA, 2025).....	22
Figure 15 : mesure de Hauteur de la plante (INRAA, 2025).....	23
Figure 16 : mesure de la longueur d'épi (INRAA, 2025).....	23
Figure 17 : Détermination du nombre d'épis par m <sup>2</sup> (INRAA, 2025).....	24
Figure 18 : Durée de la phase végétative en fonction des génotypes de blé dur .....	27
Figure 19: Teneur en chlorophylle totale en fonction des génotypes de blé dur.....	28
Figure 20 : Indice de Végétation par Différence Normalisée en fonction de génotypes de blé dur.....	29
Figure 21 : Teneur relative en eau de la feuille étandard chez dix génotypes de blé dur.....	30
Figure 22 : Teneur en protéines (mg/g MF) dans la matière fraîche chez dix génotypes de blé dur .....	31
Figure 23 : Hauteur de la plante (cm) en fonction des génotypes de blé dur .....	32
Figure 24 : Longueur d'épi chez dix génotypes de blé dur.....	33
Figure 25 : Le nombre d'épis par mètre chez dix génotypes de blé dur.....	34
Figure 26 : Nombre de grains par épi chez dix génotypes de blé dur .....	35
Figure 27 : Poids de mille grains (PMG) de dix génotypes de blé dur.....	36
Figure 28 : Rendement (qx/ha) de dix genotypes de blé dur) .....	37
Figure 29 : Préparation de Réactif de Bradford (INRAA 2025).....	51
Figure 30 : Préparation du tampon d'extraction (INRAA 2025) .....	52

## Liste des tableaux

Tableau 1: composition chimique du grain de blé (Feuillet, 2000).....	7
Tableau 2 : Description des génotypes de blé dur étudiés.....	15

## Liste des abréviations

- **CIMMYT** : Centro Internacional de Mejoramiento de Maiz Y Trigo (centre international du maïs et du blé)
- **D.O** : Densité optique
- **DPV** : Durée de la Phase Végétative
- **FAO** : Organisation pour l'Alimentation et l'Agriculture
- **HT** : Hauteur de la Plante
- **INRAA** : Institut National de la Recherche Agronomique d'Algérie
- **MF** : Matière fraîche
- **NDVI** : L'indice de Végétation par Différence Normalisée
- **NGE** : Nombre des graines par épi
- **PF** : Poids Frais
- **PMG** : Poids de Mille Grains
- **PS** : Poids Sec
- **PT** : Poids Turgide
- **Rdt** : Rendement
- **SPAD** : Développement d'analyse de plantes de sol (*Soil Plant Analyses Development*)
- **TCT** : Teneur en Chlorophylle Totale
- **TRE** : Teneur Relative en Eau
- **V** : Variété

# **Introduction**

## Introduction

Le blé (*Triticum spp.*) figure parmi les principales cultures céréalières au niveau mondial. Selon la **FAO (2021)**, Il constitue environ 20 % de l'apport énergétique et protéique dans l'alimentation humaine. En Algérie comme dans d'autres pays d'Afrique du Nord, le blé demeure un pilier de la sécurité alimentaire. Toutefois, la production nationale reste insuffisante face à une demande croissante, en raison de multiples contraintes agroclimatiques et techniques. Parmi ces contraintes figurent une faible pluviométrie, une répartition irrégulière des précipitations, ainsi que les effets du changement climatique. Les vagues de chaleur, les sécheresses répétées et la pauvreté des sols dans certaines régions limitent fortement les rendements. À cela s'ajoute un déficit technique, marqué par l'utilisation limitée de semences améliorées, un encadrement insuffisant des agriculteurs, une faible mécanisation et un recours limité aux systèmes d'irrigation modernes. Ces facteurs combinés réduisent la productivité du blé et accentuent la dépendance du pays aux importations (**Belabid et al., 2020**). Face à ces limitations structurelles et climatiques, l'identification de génotypes de blé dur plus performants et mieux adaptés aux conditions agroécologiques locales constitue une piste stratégique pour renforcer l'autonomie céréalière du pays. Une étape préliminaire essentielle dans ce processus est la pré-sélection de génotypes prometteurs, réalisée à travers une évaluation morpho-phénologique, physiologique et agronomique en conditions réelles. L'étude porte sur dix génotypes de blé dur, dont neuf lignées expérimentales d'origine mexicaine (**V3, V6, V8, V12, V16, V17, V18, V19 et V23**) et une variété locale utilisée comme témoin (**Simeto**). Elle a été réalisée en se basant sur plusieurs caractères morphologiques (hauteur de la plante et longueur de l'épi), phénologiques (durée de la phase végétative), physiologiques (teneur relative en eau TRE, teneur en chlorophylle totale, taux de protéines foliaires et indice NDVI) ainsi qu'agronomiques (nombre d'épis par mètre carré, nombre de grains par épi, poids de mille grains PMG et rendement en grains). À travers cette évaluation comparative, nous visons à mettre en évidence les génotypes les plus prometteurs afin de contribuer à l'amélioration de la productivité du blé dur en Algérie.

# **Partie bibliographique**

## 1. Histoire et l'origine géographique de blé dur

L'origine et l'évolution des genres *Aegilops*, *Amblyopyrum* et *Triticum*, qui composent le complexe du blé, ont été largement étudiées dans leurs milieux naturels ainsi que dans des contextes agricoles. Les espèces diploïdes de ce groupe auraient divergé d'un ancêtre commun il y a environ 2 à 4 millions d'années, vraisemblablement dans la région méditerranéenne de l'Asie du Sud-Ouest, engendrant des génomes distincts, des stratégies de dispersion propres et des adaptations écologiques spécifiques. À l'inverse, les espèces allopolyploïdes, issues d'hybridations entre diploïdes, ont suivi un processus d'évolution convergente, favorisant une diversité génétique accrue, une large répartition géographique et une adaptabilité à divers environnements (Feldman *et al.*, 2015). Dans ce contexte évolutif, le blé dur (*Triticum durum* Desf.) aurait émergé au sein du Croissant fertile, plus précisément dans le sud-est de la Turquie et le nord de la Syrie, à la suite d'un croisement naturel entre *Triticum urartu* (donneur du génome A) et une espèce du genre *Aegilops* (probablement *Aegilops speltoides*, donneur du génome B). Ce processus de domestication primaire remonterait à environ 7000 ans av. J.-C. (Sall *et al.*, 2019). Des centres secondaires d'origine ont également été proposés, notamment l'Abyssinie (Éthiopie actuelle) et l'Afrique du Nord, selon les travaux de (Vavilov cité par Ounzar, 2012).

## 2. Origine génétique du blé dur

L'origine du blé dur (*Triticum durum* Desf.) remonte à une hybridation naturelle entre *Triticum urartu* (génome AA) et une espèce apparentée du genre *Aegilops* (génome BB), donnant naissance à un blé tétraploïde vêtu, *Triticum turgidum* ( $2n = 4x = 28$  chromosomes). Environ 7 000 ans avant J.-C., une mutation a conduit à une forme à grain nu, facilitant le battage et marquant une étape clé dans la domestication du blé dur. Ce processus s'est produit dans la région du Croissant fertile et a joué un rôle central dans l'émergence des premières civilisations agricoles (GIE Blé Dur, 2017 ; Dvorak *et al.*, 2006).

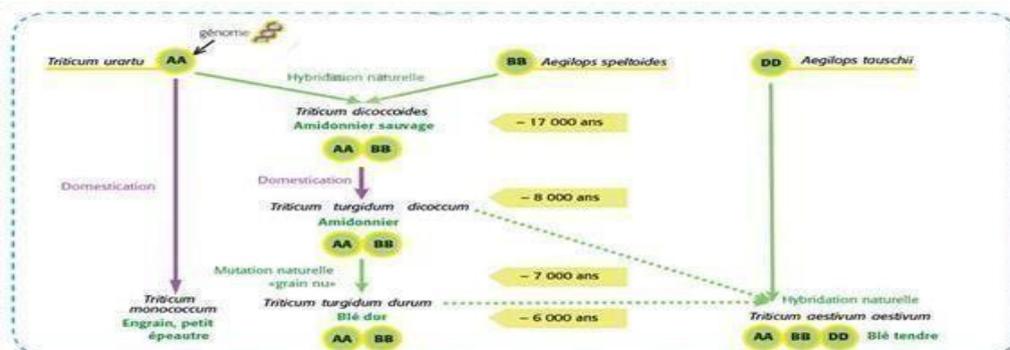


Figure 1 : évolution génétique du blé dur à travers les hybridations naturelles (GIE Blé Dur, 2017)

### **3. Importance du blé dur**

#### **3.1 l'échelle mondiale**

Le blé dur est un grain crucial à l'échelle mondiale, utilisé principalement pour produire des pâtes et de la semoule. Il constitue environ 8 à 10 % des surfaces dédiées à la culture du blé dur et tendre (*Ammar et al., 2006*).

Le Canada et la Turquie jouent un rôle clé dans la production mondiale de blé dur, représentant ensemble environ un tiers de la production totale. Le Canada, premier producteur mondial, produit environ 6 millions de tonnes (Mt), ce qui représente près d'un sixième des 35,4 Mt produites à l'échelle mondiale. Avec 5 Mt exportées, il détient plus de la moitié des parts de marché. De son côté, la Turquie, deuxième producteur mondial avec 4,6 Mt, exportera cette année seulement 900 000 tonnes, le reste étant destiné à reconstituer ses stocks (*Hénin, 2025*).

#### **3.2 En Algérie**

Le blé dur (*Triticum durum desf*) constitue la principale céréale cultivée en Algérie, occupant environ 1,3 million d'hectares, soit une part majeure des surfaces céréalières du pays (Chourghal & Hartani, 2020). En juin 2023, le ministre de l'Agriculture et du Développement rural, **Mohamed Abdelhafid Henni**, a déclaré que la production nationale couvre entre 90 et 95 % des besoins en blé dur, atteignant environ 41 millions de quintaux, dont près de 65 % sont destinés à la fabrication de pâtes alimentaires (*Henni, 2023, cité par Algérie Eco, 2023*). Cependant, malgré une production significative, l'Algérie a fait appel à l'importation de près de 1,28 million de tonnes de blé dur pour la campagne 2022/2023, avec une estimation de 1,5 million de tonnes pour 2023/2024. Cette situation la positionne au deuxième rang mondial en tant qu'importateur de blé dur (El Watan, 2024). Ce paradoxe s'explique par les contraintes climatiques, notamment la sécheresse et le réchauffement climatique, qui influencent les rendements et exigent des stratégies d'adaptation appropriées (Chourghal & Hartani, 2020).

### **4. Description morphologique du blé dur (*Triticum durum*)**

#### **4.1 Appareil végétatif**

L'appareil végétatif du blé dur se compose principalement des racines, de la tige et des feuilles.

##### **4.1.1 Racines**

Le blé dur possède un système racinaire fasciculé qui lui permet d'absorber l'eau et les

nutriments efficacement. Ce système est composé de deux types de racines:

1. Les racines séminales (embryonnaires) → Se forment dès la germination.
2. Les racines adventives (nodales) → Apparaissent plus tard et forment le réseau principal.

**(Madani, 2019).**

#### **4.1.2 Tige**

Le blé dur (*Triticum durum*) possède une tige dressée et cylindrique, généralement creuse, divisée en plusieurs entre-nœuds. Cependant, certaines variétés présentent des tiges pleines. **(Clarke et al., 2002).**

Le chaume, ou ensemble de talles, se développe à partir de bourgeons axillaires situés aux nœuds de la base de la tige principale. **(Inspection Canada 2022).**

#### **4.1.3 Feuille**

Les feuilles ont un limbe plat, avec une gaine à la base qui entoure la tige et une pointe à l'extrémité. À la jonction entre la gaine et le limbe, se trouve une petite membrane transparente (ligule) avec deux petits appendices latéraux (oreillettes) **(Bozzini, 2004).**

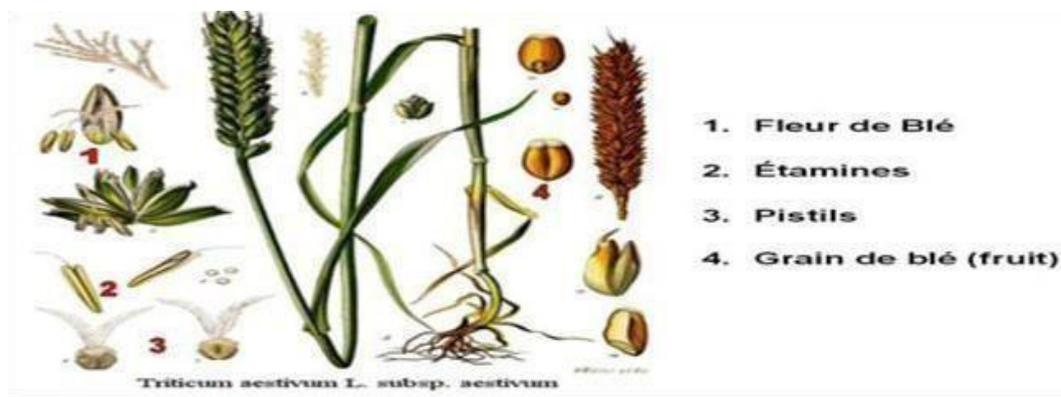
### **4.2 Appareil reproducteur**

#### **4.2.1 Fleur**

L'inflorescence du blé dur est un épi composé d'épillets contenant de 2 à 5 fleurs sans pétales. Chaque fleur possède 3 étamines et un ovaire avec 2 styles plumeux. La fécondation est majoritairement autogame en raison du caractère cléistogame de la fleur, où le pollen est libéré avant la sortie des étamines **(PRATS, 1966).**

#### **4.2.2 Fruit (le grain)**

Le grain de blé dur est un caryopse nu **(Soltner, 2005)**, fruit sec indéhiscent composé à 80-85% d'albumen, 13-17% d'enveloppes et 3% de germe. Il est riche en amidon et en gluten, assurant l'élasticité de la pâte et la levée du pain. L'embryon, riche en nutriments, est souvent retiré pour éviter le rancissement mais reste valorisé en diététique. **(Lounes et Guerfi, 2010).**



**Figure 2 :** Morphologie générale du blé dur : organes végétatifs et reproducteurs (Gorgues, le blé, collègue Louisa Paulim ,2019 )

## 5. Classification du blé dur

Le blé dur (*Triticum turgidum* sous-espèce *durum*) est une céréale appartenant à la famille des Poaceae. D'après la classification proposée par (APG IV 2016) voici sa classification taxonomique complète :

**Règne : Plantae**

**Division : Magnoliophyta (Angiospermes)**

**Classe : Monocotylédones (Liliopsida)**

**Ordre : Poales**

**Famille : Poaceae (Graminées)**

**Tribu : Triticeae**

**Genre : Triticum**

**Espèce : *Triticum durum* Desf**

## 6. Composition chimique de grain de blé dur

Le blé a un cotylédon qui représente entre 82 % et 85 % du grain et qui est crucial pour la conservation de nutriments clés tels que les glucides, les protéines, les lipides, les minéraux et les vitamines (Crétois, 1985). Au cours du processus de maturation de la graine, ces réserves se stockent soit dans le cotylédon, soit dans l'enveloppe. Elles se composent principalement de métabolites qui alimentent la plantule pendant sa germination. De plus, plusieurs enzymes participent à ce mécanisme, les plus notables étant l' $\alpha$ -amylase et la  $\beta$ -amylase, ainsi que des protéases, des lipases et des lipoxygénases (Carlsen *et al.*, 2004).

**Tableau 1: composition chimique du grain de blé (Feuillet, 2000)**

<b>Nature des composants</b>	<b>Teneur (%matière sèche)</b>
<b>Protéines</b>	<b>10-15</b>
<b>Amidon</b>	<b>67-71</b>
<b>Pentosanes</b>	<b>8-10</b>
<b>Cellulose</b>	<b>2-4</b>
<b>Sucre libre</b>	<b>2-3</b>
<b>Lipides</b>	<b>2-3</b>
<b>Matière minérale</b>	<b>1.5- 2.5</b>

## **7. Cycle de développement du blé dur**

### **7.1 Période végétative**

#### **7.1.1 Semis et levée (automne)**

La germination du blé dur commence lorsque les conditions d'humidité et de température sont optimales, suite au semis qui a lieu en automne. Le développement graduel des feuilles est dicté par le cumul de température (degrés-jours), la variété cultivée et le moment du semis. Au cours de cette étape, la plante adopte une posture érigée typique des premières phases végétatives du blé (*Triticum durum*) (Ugarte *et al.*, 2007 ; Slafer & Rawson, 1994).

#### **7.1.2 Tallage**

20 à 40 jours après la germination, dès le stade où apparaissent 3-4 feuilles, une première touffe se manifeste à l'aisselle de la première feuille de la tige principale. Selon Gate (1995), son apparition à partir de la gaine de cette feuille indique traditionnellement le commencement du tallage. Par la suite, d'autres tiges principales se forment à partir des bourgeons qui se trouvent à l'aisselle des deuxième et troisième feuilles.

Cette phase se caractérise par l'émission de pousses latérales à la base de la tige principale, chacune ayant le potentiel de produire un épi (Bélanger & Gastal, 2000).

#### **7.1.3 Montaison**

La montaison correspond à la phase de croissance où les tiges s'allongent et les entrenœuds se développent progressivement. À ce stade, les épis en formation restent encore enveloppés dans la gaine des feuilles. Cette période, qui joue un rôle clé dans la structuration du futur rendement, s'étend généralement de 40 à 60 jours après la levée (Triboi & Triboi-Blondel, 2002).

### **7.2 Période de reproduction**

### 7.2.1 Initiation de l'épi

La phase de reproduction du blé dur débute avec l'initiation de l'épi. Actuellement, les méristèmes apicaux, qui représentent les tissus en développement de la plante, connaissent une mutation qui conduit à la formation des épis. Généralement entre 40 et 60 jours après la germination, ce processus crucial pour estimer le nombre possible d'épillets par épi a lieu, en tenant compte des conditions environnementales. (*Zadoks et al., 1974*).

### 7.2.2 Épiaison et floraison

Chez le blé dur, L'épiaison de l'épi se produit graduellement depuis la gaine foliaire de la dernière feuille, connue sous le nom de feuille étendard. Elle commence lorsque l'extrémité de l'épi devient visible et se conclut lorsqu'il est totalement exposé (*Adama, 2021*). Cette étape signe le commencement de la phase reproductive observable et se produit généralement entre 7 et 10 jours avant la floraison (*Zadoks et al., 1974*). Pour ce qui est de la floraison, elle commence lorsque les anthères libèrent le pollen. Cette phase est essentielle pour le développement du rendement, car des stress liés à l'eau ou à la chaleur pendant cette période peuvent diminuer considérablement la fertilité des fleurs et par conséquent, le nombre de grains final (*Slafer et Rawson, 1994*).

### 7.2.3 Maturation du grain

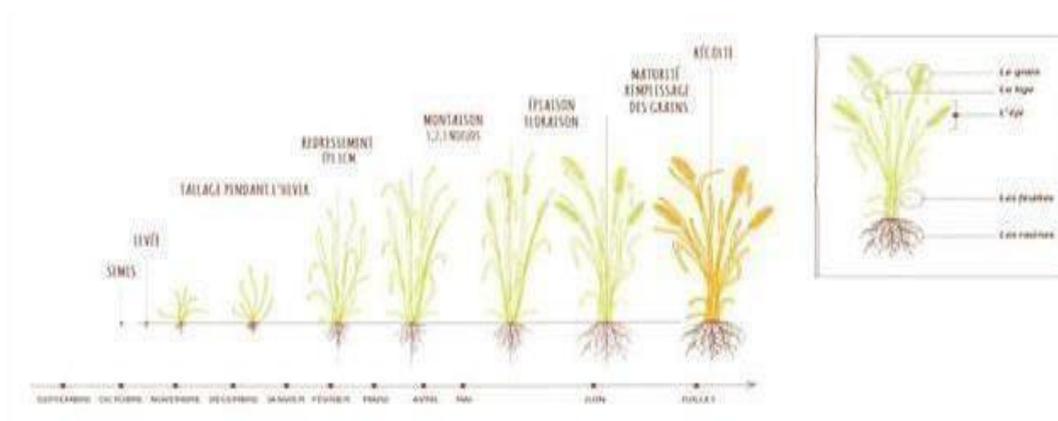
La maturation constitue la dernière phase du cycle végétatif du blé dur. Au cours de cette période, le grain passe par trois étapes successives :

- 1. Stade laiteux :** Le grain est encore vert, volumineux et rempli d'un liquide laiteux riche en sucres solubles.
- 2. Stade pâteux :** Le grain commence à jaunir en raison de la diminution de son activité photosynthétique. Cette phase est marquée par une croissance cellulaire intense et une accumulation progressive des réserves.
- 3. Stade vitreux :** Le grain perd rapidement son humidité, passant d'un taux d'environ 40 % à 14-15 %, ce qui lui confère sa forme définitive et son aspect vitreux caractéristique (*Sakr, 2021*).

### 7.2.4 La sénescence

La sénescence représente l'étape terminale du développement du blé dur, marquée par une détérioration graduelle des tissus, en particulier des feuilles, et une réduction de l'activité photosynthétique. Ce mécanisme favorise le transfert des nutriments (azote, carbone) vers les

grains en développement. La sénescence prématurée, généralement déclenchée par des facteurs de stress abiotiques comme la sécheresse ou la chaleur, peut sérieusement affecter le rendement et la qualité du grain (**Gregersen *et al.*, 2008**).



**Figure 3** : cycle de développement du blé (**Sabella *et al.*, 2020**)

## 8. Exigences pédoclimatiques de Blé dur

### 8.1 La température

Les besoins thermiques du blé dur fluctuent selon les phases de croissance de la plante. Pour une croissance optimale, il est préférable d'avoir une température entre 14 °C et 16 °C lors de la phase de végétation, avec un total thermique approximatif de 2 400 °C durant tout le cycle.

Chaque stade végétatif a des besoins spécifiques :

- **Stade de levée** : La germination peut se produire à des températures relativement basses, y compris proches de 0°C, voire proches de zéro degré Celsius.
- **Stade de développement** : Pendant cette phase, la température optimale pour la croissance du blé dur se situe entre 8 °C et 10 °C.
- **Stade d'épiaison-floraison** : À ce stade, les températures optimales sont plus élevées, se situant entre 22 °C et 24 °C (**Zeouaoui *et al.*, 2007**).

### 8.2 L'eau

La culture du blé dur exige un approvisionnement en eau ajusté à chaque phase de développement. Durant la période de tallage, on estime qu'il faut environ 70 mm, qui sont suivis de 110 mm entre l'étirement du tige et l'épiaison, puis 150 mm jusqu'à la maturation (**Oudina *et al.*, 1988**). L'utilisation d'eau diffère d'un site à l'autre, oscillant entre 100 et 462 mm. Pour garantir une croissance optimale, il faut au moins 210 mm pour produire des grains. Sous la pluie, l'usage d'eau varie de 100 à 462 mm, alors que dans des conditions d'irrigation, il fluctue entre 250 et 616 mm (**Mohsen Rezgoui *et al.*, 2005**).

### 8.3 La lumière

Le blé dur nécessite une durée d'ensoleillement de 12 à 14 heures par jour et une intensité lumineuse élevée pour une croissance optimale. La lumière est essentielle pour la photosynthèse, en particulier pendant les stades critiques comme l'épiaison, la floraison et le remplissage des grains. Un déficit lumineux peut réduire le rendement en affectant la formation des épis et des grains (**Fischer, 1985**). Une gestion adéquate de la lumière est donc cruciale pour maximiser la productivité du blé dur.

### 8.4 Le sol

Les sols les plus adaptés à la culture du blé dur sont des sols bien drainés, profonds et riches en éléments fins, tels que les sols argilo-calcaires ou argilo-siliceux. Cependant, le blé dur est sensible à des niveaux élevés de calcaire et de salinité. Un pH optimal compris entre 6,5 et 7,5 est recommandé, car il favorise une meilleure assimilation de l'azote et une croissance optimale (**Oeondo, 2014**).

**Fertilité du sol** : Le blé dur nécessite un sol riche en nutriments, les éléments nutritifs essentiels incluent :

- **Azote (N)** : Essentiel à la croissance végétative et la formation des protéines.
- **Phosphore (P)** : crucial pour le développement racinaire et la maturation des grains.
- **Potassium (K)** : améliore la résistance aux maladies et la qualité des grains (**Malhi et al., 2007**).

## 9. Les composantes du rendement

Le rendement du blé se construit progressivement, étape par étape, depuis la mise en place de la culture jusqu'à la maturation du grain, grâce à la formation successive de ses différentes composantes (**COUVREUR et al., 1985**).

Selon (**Abderrezak Kirouani et al., 2019**) le rendement se compose des éléments suivants :

- -Nombre d'épis au mètre carré.
- -Nombre moyen de grains par épi.
- -Poids de 1000 grains.

### 9.1 Nombre d'épis par m<sup>2</sup>

Deux éléments essentiels pour déterminer la quantité totale de grains par m<sup>2</sup> sont le nombre d'épis par m<sup>2</sup> et le nombre de grains par épi. Quand un génotype spécifique génère à la fois une grande quantité d'épis et un nombre important de grains par épi, cela donne lieu à un total considérablement supérieur de grains par m<sup>2</sup>. De plus, plusieurs paramètres

agronomiques majeurs, tels que le rendement des grains, le poids des épis, la rentabilité par hectare et le nombre de grains au mètre carré, présentent une corrélation positive avec le nombre d'épis (Laala, 2011).

## **9.2 Le nombre de grains par épi**

Le nombre de grains par épi varie en fonction des conditions de culture et de la fertilisation appliquée. Une étude a montré que cette valeur pouvait osciller entre 32,75 et 58,75 grains par épi, avec une augmentation significative sous l'effet de la fertilisation NPK. (Laala, 2011).

## **9.3 Le poids de mille grains**

Le poids de mille grains (PMG) est un indicateur important de la taille, de la densité et de la qualité des grains. Il est influencé par des facteurs génétiques, climatiques et cultureux, notamment la disponibilité de l'eau, la fertilisation et les températures durant le remplissage des grains. Le PMG est fréquemment employé comme critère de choix dans les programmes d'amélioration des variétés, en raison de son lien étroit avec le rendement et la qualité technologique des grains. (Stefanova-Dobrova & Muhova, 2024).

## **10. Amélioration du blé dur**

L'amélioration du blé dur (*Triticum durum Desf*) est un processus scientifique visant à développer de nouvelles variétés avec de meilleures performances agronomiques, technologiques et qualitatives. Elle repose sur des méthodes de sélection génétique, de croisement et parfois de biotechnologies (Charrier *et al.*, 2001). L'objectif principal d'amélioration vise à augmenter les rendements et renforcer sa résistance aux maladies comme la rouille brune et la septoriose. Ces maladies peuvent gravement affecter la production, rendant la sélection de variétés résistantes indispensable pour assurer une culture stable. De plus, bien que moins prioritaire, la tolérance à la sécheresse est un critère important pour adapter le blé dur aux changements climatiques. En parallèle, les chercheurs travaillent sur l'amélioration de la qualité des grains, notamment en intensifiant la couleur jaune du grain et en améliorant la teneur en gluten, ce qui est essentiel pour la fabrication des pâtes alimentaires et de la semoule. Ainsi, les efforts d'amélioration visent à répondre aux besoins des agriculteurs tout en garantissant des produits de qualité pour les consommateurs et l'industrie agroalimentaire. (Lacoudre, 2022).

## **10.1 Stratégie d'amélioration de blé dur**

### **10.1.1 Sélection massale de blé dur**

La sélection massale est l'une des plus anciennes méthodes utilisées pour l'amélioration génétique du blé dur (*Triticum durum Desf.*). Elle consiste à sélectionner un grand nombre de plantes individuelles présentant des caractères souhaités (comme la précocité, la hauteur, ou la résistance à la sécheresse), puis à mélanger leurs graines pour les semer ensemble lors de la génération suivante. Cette méthode est particulièrement efficace pour améliorer les populations locales tout en conservant une diversité génétique élevée (Allard, 1999).

### **10.1.2 Sélection par des marqueurs génétique**

Les techniques de sélection actuelles font appel au génotypage moléculaire à l'aide de marqueurs génétiques, c'est-à-dire des séquences d'ADN spécifiques. L'idée est d'établir un lien, grâce à une analyse statistique, entre la variation des caractères phénotypiques observés chez la plante et la variation de ses gènes. Les microsatellites sont souvent privilégiés parmi ces marqueurs du fait de leur polymorphisme élevé, résultant de la variation du nombre de répétitions, ce qui les rend particulièrement riches en information (Bousba *et al.*, 2009).

## **10.2 Croisement et hybridation**

Les méthodes d'hybridation et de croisement sont utilisées pour fusionner des caractéristiques agronomiques désirables, comme la productivité, la résistance aux maladies et la qualité technologique des céréales. Les croisements ciblés offrent la possibilité d'intégrer des gènes spécifiques provenant de variétés sauvages ou d'espèces connexes, alors que l'hybridation a pour objectif de tirer parti de l'hétérosis afin d'améliorer la vigueur et le rendement des plantes (Maccaferri *et al.*, 2019).

# **Matériel et Méthodes**

## 1. Lieu de travail

Notre étude a été menée au sein de la station de recherche et d'expérimentation de l'INRAA (Institut National de la Recherche Agronomique d'Algérie), située à Baraki zone à climat subhumide. La station se distingue par des précipitations modérées à élevées, variant entre 600 et 800 mm par an, avec une répartition saisonnière irrégulière. Ce climat constitue un atout pour le développement des cultures céréalières, spécialement le blé dur et le blé tendre, grâce à une disponibilité hydrique relativement favorable à leur croissance. Cet institut joue un rôle clé dans le développement de l'agriculture en Algérie en menant des recherches sur l'amélioration des cultures, la gestion des ressources naturelles et l'innovation agronomique. La station de Baraki est particulièrement impliquée dans l'étude des céréales spécialement le blé, offrant des infrastructures adaptées aux essais expérimentaux et aux programmes de sélection variétale.



Figure 4 : Institut National de la Recherche Agronomique d'Algérie BARAKI (2025)

## 2. objective de travail

L'objectif de ce travail repose sur l'évaluation et la caractérisation de dix génotypes de blé dur (*Triticum durum Desf.*). Cette caractérisation consiste à analyser la réponse et la variabilité des génotypes à travers des caractères morpho-phénologiques, physiologiques et agronomiques, sous les conditions agro-climatiques subhumides de la région, en vue d'une présélection des génotypes les mieux adaptés aux conditions locales. L'expérimentation sera menée durant la campagne agricole 2024-2025.

## 3. Matériel végétal

Dix génotypes de blé dur (*Triticum durum Desf.*) dont neuf sont des lignées avancées en génération issues d'une collaboration avec un centre de recherche international « CIMMYT »,

et une variété locale (SIMETO) très appréciée par nos agriculteurs ont été évalués au champ (Tableau 2).

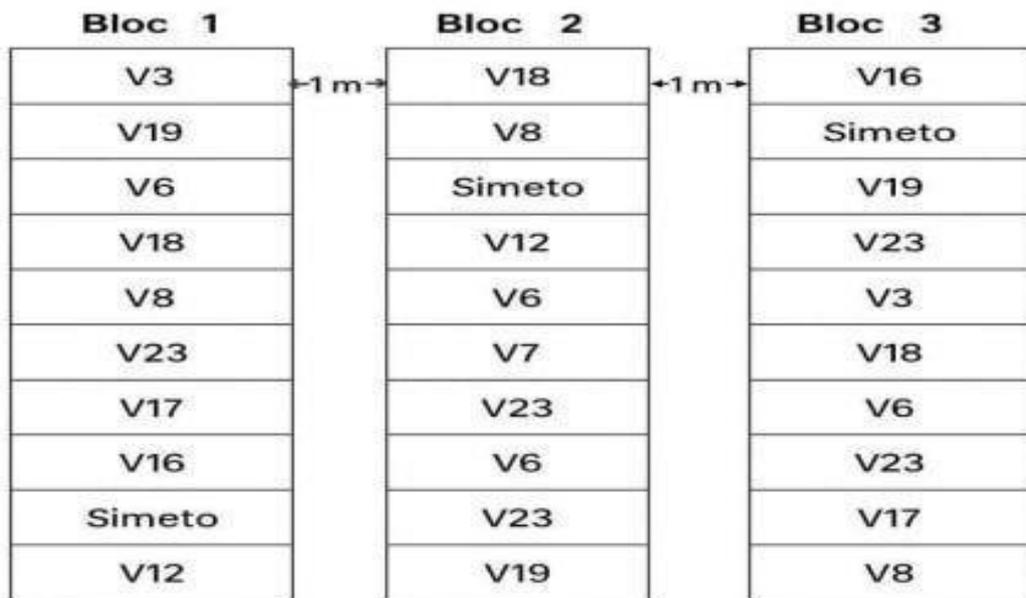
**Tableau 2 : Description des génotypes de blé dur étudiés**

<b>Code</b>	<b>Variété et lignées /Pédigrée</b>
<b>T</b>	<b>Simeto</b>
<b>V3</b>	CBC509CHILE/5/2*AJAIA_16//HORA/JRO/3/GAN/4/ZAR/6/AJAIA_12/F3LOCAL(SEL.ETHIO.135.85) )//PLATA_13/4/CHEN_1/TEZ/3/GUIL//CIT71/CII/5/SORA/2*PLATA_12//SOMAT_3
<b>V6</b>	GUAYACAN INIA/2*SNITAN/3/SOMAT_3/GREEN_22//2*RASCON_37/2*TARRO_2
<b>V8</b>	STORLOM/3/RASCON_37/TARRO_2//RASCON_37/4/D00003A/5/1A.1D
<b>V12</b>	TARRO_1/2*YUAN_1//AJAIA_13/YAZI/3/SOMAT_3/PHAX_1//TILO_1/LOTUS_4/4/CANELO_8//SO RA/2*PLATA_12/5/CBC 501
<b>V16</b>	TUNSYR-2/MOHAWK
<b>V17</b>	Terbol975/Geruftel2
<b>V18</b>	PLATINUM/3/KNIPA/TAGUA//PLANETA/TRILE
<b>V19</b>	Ossl1/Stj5/5/Bicredera1/4/BEZAIZSHF//SD19539/Waha/3/Stj/Mrb3/6/Stk/Hau/He cal
<b>V23</b>	Amedakul1/TdicoSyrCol//Cham1 =Magrou

#### **4. Dispositif expérimental**

Afin d'étudier le comportement et de comparer les dix génotypes de blé dur précédemment cités, nous avons adopté un dispositif en blocs aléatoires complets comportant trois répétitions.

L'essai a été mené au niveau du champ de la station expérimentale, avec un semis réalisé le 17/12/2024. Chaque bloc Comporte dix parcelles élémentaires, chacune correspondant à un génotype. La dimension de la parcelle élémentaire est de 1.2 m de largeur et 5 m de longueur avec 6 rangs de 20 cm d'écartement, superficie nette de chaque parcelle est de 6 m<sup>2</sup>.



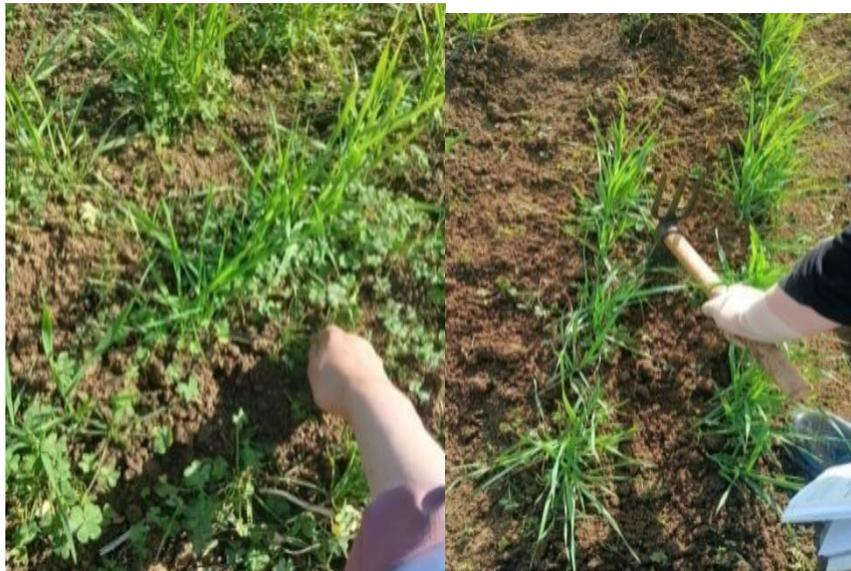
**Figure 5 :** Dispositif expérimental (bloc aléatoire complet)

## 5. Désherbage

Cette intervention vise à éliminer les mauvaises herbes dicotylédones existantes (*Oxalis corniculata L.*), afin de minimiser leur concurrence avec le blé dur et son développement, favorisant ainsi une meilleure croissance de la culture.

### 5.1 Désherbage manuel et mécanique

Le désherbage a été effectué manuellement ou à l'aide de petits outils à main, tandis que le désherbage mécanique a été effectué à l'aide de machines agricoles plus lourdes.





**Figure 6 :** photos prises au moment du Désherbage manuel (INRAA 2025)

## 5.2 Désherbage chimique

En plus du désherbage manuel et mécanique, le désherbage chimique a été effectué en utilisant l'herbicide contre les dicotylédones appelé Desormone lourd D. Ce processus a été réalisé en préparant la solution, en calculant le dosage approprié et en prenant la dose appropriée.

Cette opération a été réalisée dans des conditions climatiques favorables le 19 février 2025.

En préparant la solution et en respectant le dosage recommandé (34ml pour 16L d'eau).



**Figure 7 :** opération de désherbage chimique au cours d'utilisation du pulvérisateur



**Figure 8 :** Application de l'herbicide contre les dicotylédones Desormone lourd D

## 6. Fertilisation

Pour assurer une bonne couverture végétale, favoriser le développement et la croissance de notre culture, alors, nous avons utilisé un engrais de couverture azotée l'urée (46%). Un apport de 60 uN /ha été appliqué au stade tallage le 23 février 2025.

On a Apporté un apport de 78 gr d'urée 46 % pour chaque parcelle élémentaire de façon homogène.



Figure 9 : Opération de fertilisation (INRAA, 2025)

## 7. Paramètres mesurés

### 7.1 Paramètres phénologiques

#### Détermination de la précocité à l'épiaison

Pour évaluer la précocité des génotypes étudiés, nous avons suivi l'apparition des épis dans chaque parcelle. La date d'épiaison a été déterminée comme étant le jour où plus de 50 % des plantes de la parcelle ont émis leur épi. Ce critère permet de comparer la précocité de développement des différents génotypes.

### 7.2 Paramètres physiologiques

#### 7.2.1 Teneur en chlorophylle totale

La teneur en chlorophylle des feuilles a été estimée à l'aide d'un chlorophylle-mètre SPAD au stade de la floraison. Les mesures ont été effectuées sur le limbe de la feuille étendard. Trois feuilles ont été choisies au hasard dans chaque parcelle, puis la moyenne des valeurs obtenues a été calculée pour chaque génotype.



**Figure 10:** chlorophylle-mètre SPAD (INRAA, 2025)

### 7.2.2 Mesure de l'Indice de Végétation par Différence Normalisée (NDVI)

L'NDVI (Normalized Difference Vegetation Index), ou indice de végétation par différence normalisée, est l'un des indices de végétation les plus anciens et les plus couramment utilisés. Il sert à évaluer l'activité physiologique des plantes chlorophylliennes. Les mesures ont été réalisées à l'aide de l'appareil Green Seeker pour prendre les mesures de biomasse. Avant de commencer, on a vérifié qu'il était bien chargé. Pendant la mesure, on tenait l'appareil avec le bras tendu, à environ 60 cm au-dessus des plantes, et on marchait droit et à une vitesse régulière sur toute la longueur de parcelle, afin de garantir une mesure représentative. L'appareil calcule automatiquement la moyenne du NDVI sur toute la zone parcourue.



**Figure 11:** Appareil GreenSeeker (INRAA BRAKI 2025)

**Remarque:** L'utilisation du GreenSeeker n'est pas fiable en présence de mauvaises herbes, car elles influencent la réflexion de la lumière et faussent les résultats obtenus.



**Figure 12 :** interférence des mauvaises herbes lors de la mesure du NDVI (INRAA BARAKI 2025)

### 7.2.3 Teneur Relative en Eau (TRE)

La teneur relative en eau (TRE) permet d'évaluer, en pourcentage, le statut hydrique des feuilles, reflétant ainsi l'état hydrique relative de la plante.

Au stade de floraison, les mesures de la TRE sont réalisées sur un échantillon de trois feuilles étendards prélevées par parcelle. Les feuilles sont coupées à la base du limbe, puis immédiatement pesées afin de déterminer le poids frais (PF). Ensuite, elles sont placées dans des tubes à essai contenant de l'eau distillée et conservées au réfrigérateur à 4 °C pendant 24 heures. Après ce temps, les feuilles sont sorties et pesées à nouveau pour obtenir le poids à la turgescence (PT).

Enfin, elles sont mises à sécher dans une étuve à 80 °C durant 24 heures, puis pesées une dernière fois pour déterminer le poids sec (PS).

Elle est calculée Selon la formule suivante (Clark et Mac Caig (1982) :

$$\text{TRE \%} = [(PF- PS) / (PT-PS)] \times 100.$$



**Figure 13** : Etapes de détermination de la TRE (INRAA, 2025)

## 7.2.4 Extraction et dosage des protéines totales foliaires

### 7.2.4.1 Échantillonnage

Avant de commencer l'échantillonnage, nous avons préparé les tubes numérotés selon les 30 parcelles, avec des étiquettes bien collées pour éviter toute confusion. La machine à glace a été allumée environ 15 minutes avant notre départ, le temps qu'elle commence à produire de la glace. Une fois la glace prête, nous avons rempli une boîte et placé les tubes à l'intérieur pour les garder au froid. Sur le terrain expérimental, nous avons procédé au prélèvement feuille par feuille à l'aide de ciseaux propres, en sélectionnant deux feuilles étendard par parcelle, c'est-à-dire les feuilles les plus longues et en bon état. Afin d'éviter la dégradation des protéines, les feuilles ont été coupées rapidement et placées aussitôt dans leurs tubes.

L'échantillonnage a été organisé par blocs. À chaque fois que nous terminions un bloc, nous mettions immédiatement les tubes correspondants au réfrigérateur. La glace de la boîte était

renouvelée à chaque nouveau bloc pour maintenir une bonne température. Au total, trois blocs ont été réalisés selon le même protocole, ce qui a permis une bonne conservation des échantillons. Un deuxième échantillonnage a été réalisé un mois plus tard, suivant le même protocole.

### **Extraction et dosage des protéines totales**

100 mg de feuilles fraîches sont broyées dans 1.5 ml de tampon d'extraction (Tris-HCl 0.1 M, 10 % de saccharose, 0.05 % de  $\beta$  mercaptoéthanol, pH = 8.1). L'extrait est ensuite centrifugé pendant 6 mn à 12 900 rpm à 4° C. Le surnageant est alors prélevé. Les protéines sont dosées sur une aliquote d'extrait. Pour le dosage des protéines hydrosolubles totales (Selon la méthode de Bradford, 1976), à 100  $\mu$ L de surnageant sont ajoutés à 3 ml de réactif de Bradford. Après incubation pendant 5 min, la densité optique (D.O) est lue au spectrophotomètre à la longueur d'onde  $\lambda = 595$  nm.

**La courbe d'étalonnage:** La courbe d'étalonnage nous permet de tirer la correspondance entre les densités optiques et les concentrations des substances à doser. Cette courbe est réalisée à l'aide de concentrations croissantes d'Albumine de Sérum Bovin (BSA) obtenues à partir d'une solution mère de 1 mg/ml. La conversion des DO en concentrations (mg.mL<sup>-1</sup>) a été réalisée à partir de l'équation  $DO = 0.7103 * C$  avec  $R^2 = 0.997$ .



**Figure 14 :** Extraction et dosage des protéines (INRAA, 2025)

## 7.3 Paramètres morphologiques

### 7.3.1 Hauteur de la plante

La hauteur des plantes (sans les barbes) a été mesurée à l'aide d'une mètre ruban en centimètres, de la base de la tige jusqu'au sommet. Trois plantes par parcelle ont été choisies au hasard au début du stade de maturité.



**Figure 15** : mesure de Hauteur de la plante (INRAA, 2025)

### 7.3.2 Longueur d'épi

La longueur des épis (sans les barbes) a été mesurée à l'aide d'une règle, du bas jusqu'au sommet. Trois échantillons ont été pris au hasard dans chaque parcelle, au début du stade de maturation.



**Figure 16** : mesure de la longueur d'épi (INRAA, 2025)

## 7.4 Paramètres agronomiques

### 7.4.1 Nombre d'épi par m<sup>2</sup>

Le nombre d'épis par mètre carré a été déterminé par comptage sur un mètre linéaire, en évitant les bordures, puis converti en densité (épis/m<sup>2</sup>) pour chaque parcelle.



**Figure 17:** Détermination du nombre d'épis par m<sup>2</sup>  
(INRAA, 2025)

### 7.4.2 Nombre de grains par épi

Cinq épis ont été prélevés manuellement de manière aléatoire dans chaque parcelle, puis battus à l'aide d'une batteuse à poste fixe. Le nombre de grains par épi a ensuite été déterminé à l'aide d'un compteur de grains, et la moyenne a été calculée pour chaque parcelle.

### 7.4.3 Récolte

La récolte a été effectuée manuellement à l'aide d'une faucille sur une surface d'un mètre carré dans chaque parcelle. Les échantillons (10 génotypes × 3 répétitions) ont été placés dans des sachets étiquetés individuellement.

### 7.4.4 Poids de mille grains (PMG)

Le comptage de 1000 grains a été effectué pour chaque parcelle à l'aide d'un compteur automatique. Les grains comptés ont ensuite été pesés à l'aide d'une balance de précision, afin de déterminer le poids de mille grains (PMG) pour chaque génotype.

### 7.4.5 Rendement en grains

Le rendement en grains a été déterminé en pesant les grains récoltés sur une surface d'un mètre carré pour chaque répétition. Le poids obtenu a été mesuré à l'aide d'une balance de précision, puis converti en quintaux par hectare (qx/ha).

Cette méthode permet d'estimer le rendement potentiel à l'échelle d'un hectare à partir d'une petite unité de surface réduite, tout en assurant une précision satisfaisante.

## **8. Analyse statistique**

Les données collectées ont été analysées à l'aide du logiciel Genstat. Une analyse de la variance (ANOVA) à un facteur (le génotype) a été réalisée afin de détecter d'éventuelles différences significatives entre les génotypes pour les variables mesurées. Le seuil de signification retenu est de 5 %, avec un intervalle de confiance de 95 %.

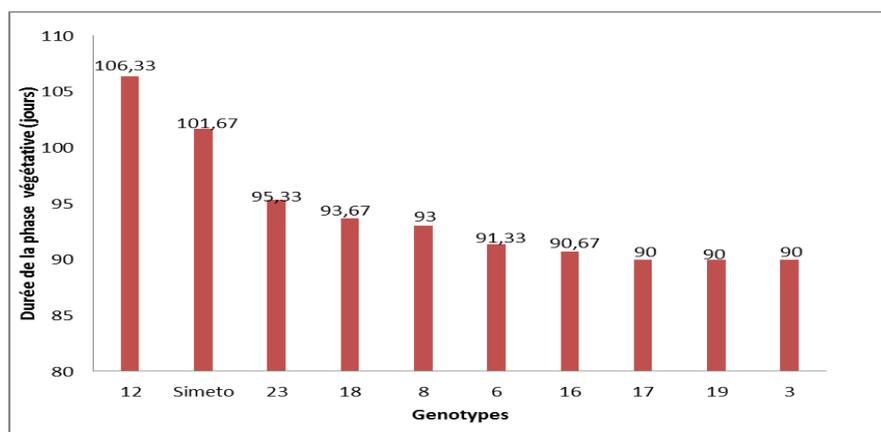
# **RESULTATS ET DISCUSSION**

# 1. Paramètres phénologiques

## 1.1. La précocité a l'épiaison

La moyenne générale de la durée de la phase végétative (DPV) est estimée à 94,20 jours. Selon les résultats de la figure, la majorité des génotypes étudiés (V23, V18, V8, V6, V16, V17, V19 et V3) présentent une DPV inférieure à cette moyenne, ce qui les classe parmi les génotypes précoces, caractérisés par un cycle végétatif court. En revanche, les génotypes 12 et Simeto se distinguent par une DPV nettement supérieure à la moyenne (106,33 et 101,67 jours respectivement), traduisant une phase végétative plus longue, ce qui permet de les classer parmi les génotypes tardifs.

L'analyse de la variance appliquée à la phase végétative (DPV) a révélé une différence très hautement significative entre les génotypes étudiés ( $p < 0,001$ ).



**Figure 18** : Durée de la phase végétative en fonction des génotypes de blé dur

La précocité phénologique se réfère à la vitesse à laquelle une plante atteint de son développement, y compris l'épiaison. Une variété précoce atteint ce stade plus tôt qu'une variété tardive, ce qui représente un avantage adaptatif dans les milieux soumis à des contraintes hydriques. La précocité à la phase de l'épiaison chez le blé dur (*Triticum durum Desf.*) permet d'échapper à la sécheresse finale grâce à une floraison anticipée et une phase végétative raccourcie (Shavrukov *et al.*, 2017). De plus, des recherches récentes indiquent que les variétés précoces, qui ont un cycle de croissance plus court, affichent une meilleure efficacité d'utilisation de l'eau et génèrent des rendements plus élevés en situation de stress hydrique (Figuroa-Bustos *et al.*, 2022).

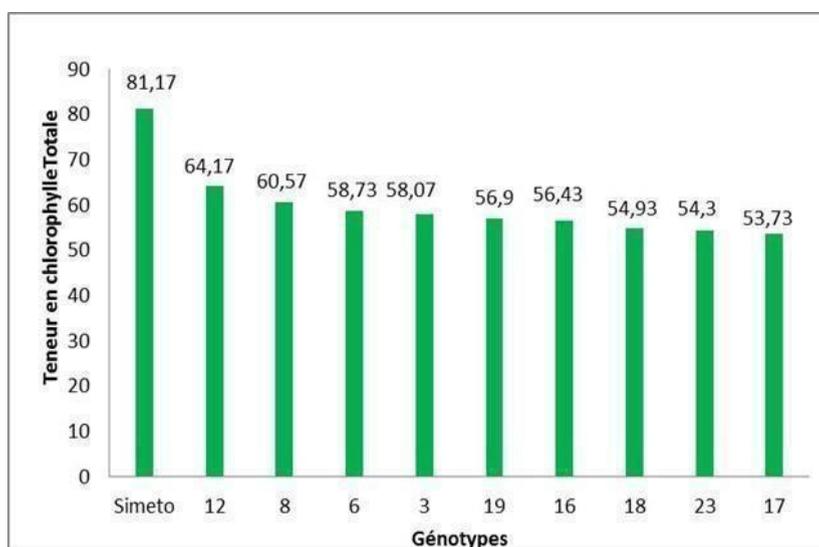
## 2. Paramètres physiologiques

### 2.1. Teneur en chlorophylle totale

À partir de la figure ci-dessus, on remarque que la teneur en chlorophylle totale varie considérablement entre les génotypes étudiés. La valeur la plus élevée a été enregistrée chez le génotype Simeto avec (81,17 spad), ce qui dépasse largement la moyenne générale (59,9), indiquant une capacité photosynthétique potentiellement supérieure.

Les génotypes V12, V8, V6 et V3 présentent des teneurs légèrement inférieures ou proches de la moyenne, traduisant une performance photosynthétique intermédiaire. En revanche, les génotypes V19, V16, V18, V23 et V17 affichent les valeurs les plus faibles, toutes en dessous de la moyenne, suggérant une activité photosynthétique réduite.

Par ailleurs, l'analyse de la variance appliquée à la teneur en chlorophylle totale a révélé une différence très hautement significative entre les génotypes ( $p < 0,001$ ).



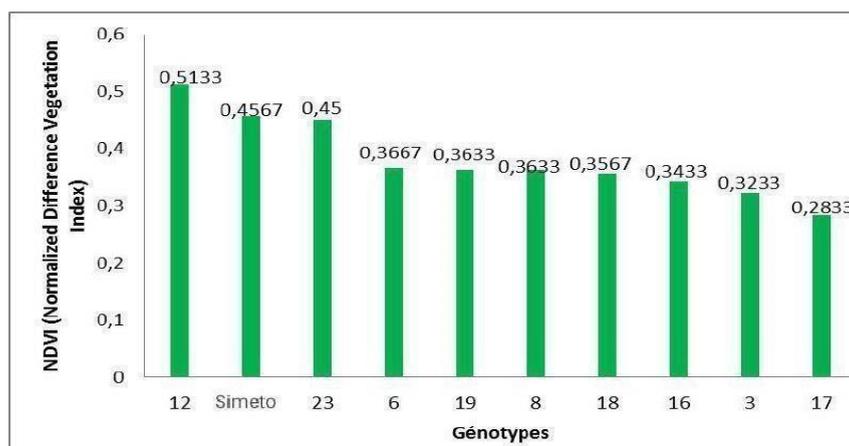
**Figure 19:** Teneur en chlorophylle totale en fonction des génotypes de blé dur

La chlorophylle est essentielle au processus de la photosynthèse. Une forte concentration en chlorophylle est habituellement liée à une photosynthèse vigoureuse, ce qui facilite une efficace absorption et réutilisation des nutriments en fin de cycle végétatif. Cela indique généralement un état physiologique optimal et une meilleure résistance au stress abiotique (Bouzidi, 2019 ; Srivastava *et al.*, 1988). Cependant, la teneur en chlorophylle peut diminuer sous l'effet de divers stress abiotiques comme le déficit hydrique, la carence en azote, la salinité ou encore la sénescence naturelle des feuilles. Cette baisse entraîne une réduction de

la photosynthèse et par conséquent, une diminution de la croissance et du rendement (**Lichtenthaler, 1996**). Effectivement, des facteurs de stress environnementaux comme la sécheresse, la salinité et les températures extrêmes induisent une modification du métabolisme cellulaire, résultant en une réduction du niveau de chlorophylle. Cette diminution entrave la captation lumineuse par les feuilles, ce qui perturbe le processus de photosynthèse de la plante. Ainsi, l'observation de la fluorescence chlorophyllienne permet d'identifier rapidement ces impacts et d'apprécier la résistance des plantes à ces environnements hostiles (**Guidi et al., 2019**).

## 2.2. Indice de Végétation par Différence Normalisée (NDVI)

La moyenne générale du NDVI pour l'ensemble des génotypes étudiés est estimée à 0,3820, ce qui représente un niveau de couverture modéré dans les conditions expérimentales et l'observation des valeurs du NDVI mesurées chez les différents génotypes a permis de distinguer les génotypes V12 et Simeto caractérisés par une meilleure couverture végétale et une vigueur apparente plus élevée. Et V17, qui montre une densité végétative relativement plus faible. Et l'analyse statistique souligne que les différences entre les génotypes sont très hautement significatives ( $p < 0.001$ ).



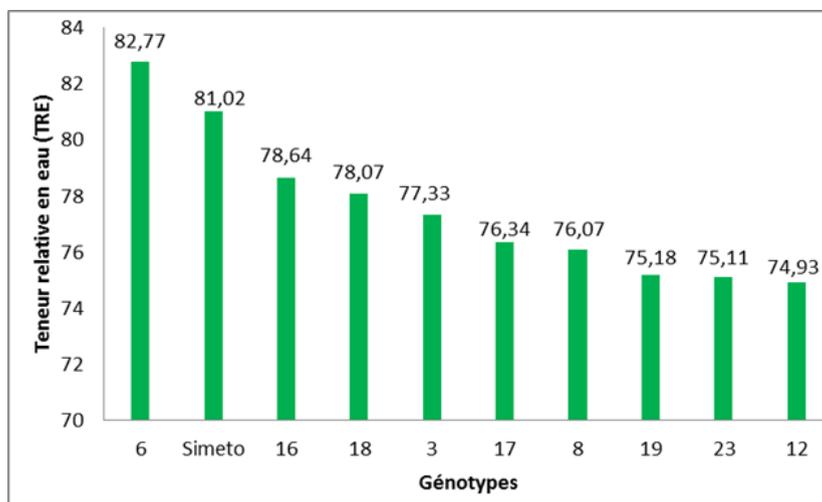
**Figure 20** : Indice de Végétation par Différence Normalisée en fonction de génotypes de blé dur

L'indice de végétation par différence normalisée (NDVI) constitue un outil efficace pour l'évaluation rapide de la couverture végétale, de sa densité et de sa vigueur (**Weier & Herring, 2000**). Il est largement utilisé comme indicateur indirect de la santé physiologique des plantes, car il est fortement corrélé à l'activité photosynthétique, notamment à la teneur en chlorophylle et à l'absorption de la lumière par la canopée (**Pinto et al., 2016 ; Srivastava et**

*al.*, 1988). Une valeur élevée de NDVI reflète généralement une végétation active, en bon état physiologique, avec un potentiel de production élevé. À l'échelle régionale et globale, l'analyse spatio-temporelle du NDVI permet également de détecter les effets des stress abiotiques (sécheresse, chaleur), ainsi que l'impact des pratiques agricoles et des changements climatiques sur la dynamique de la végétation (Li *et al.*, 2015 ; Tucker *et al.*, 2005).

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

L'analyse de la teneur relative en eau (TRE) a montré que les génotypes V6 et Simeto présente la valeur la plus élevée, traduisant une meilleure rétention en eau. À l'opposé, le génotype V12 a enregistré la valeur la plus faible, indiquant une capacité de rétention hydrique limitée. La moyenne générale de la TRE pour l'ensemble des génotypes est de 77.55%, reflétant un état hydrique modéré dans les conditions expérimentales. L'analyse statistique a révélé que les différences entre les génotypes ne sont pas significatives  $p=0,243$  ( $p > 0,05$ ).



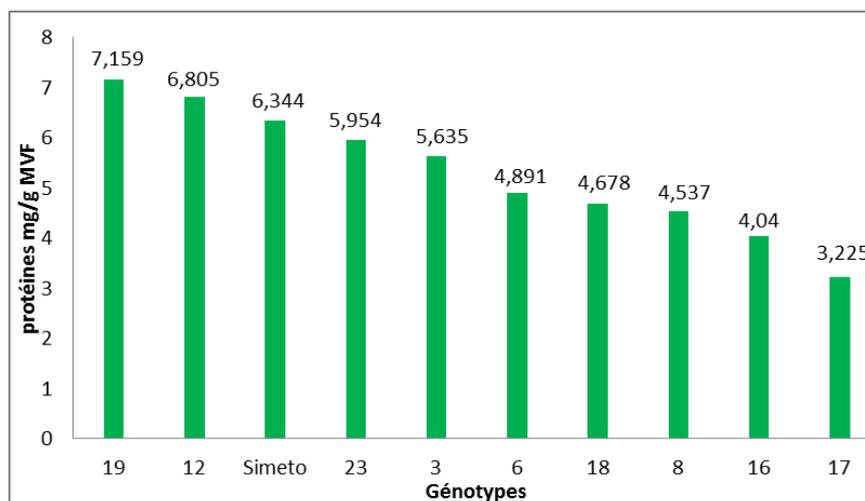
**Figure 21** : Teneur relative en eau de la feuille étandard chez dix génotypes de blé dur

La teneur relative en eau (TRE) est un indicateur physiologique essentiel pour estimer la tolérance des génotypes de blé au stress hydrique. Une TRE élevée traduit une meilleure capacité de rétention en eau, ce qui favorise la survie en conditions de sécheresse (Ahmad *et al.*, 2022). En parallèle, des niveaux supérieurs de TRE ont été associés à une performance accrue chez certains génotypes de blé dur soumis à un stress hydrique, ce qui en fait un critère d'amélioration pertinent dans les programmes de développement variétal (Tessema *et al.*, 2024).

De plus, plusieurs études ont montré que la TRE est fortement corrélée à d'autres traits physiologiques tels que la fermeture stomatique, la stabilité membranaire et la teneur en chlorophylle, ce qui en fait un indicateur intégré de la réponse au stress hydrique (Khayatnezhad *et al.*, 2010).

#### 2.4. La teneur en protéines (mg/g MF)

La figure ci-dessus illustre les variations de la teneur en protéines (mg/g MF) parmi les différents génotypes étudiés. Le génotype 19 a enregistré la valeur la plus élevée (7,159mg/g), suivi par V12 (6,805mg/g) et Simeto (6,344mg/g), En revanche, le génotype V17 a affiché la valeur la plus faible (3,225 mg/g), suggérant une teneur en protéines plus réduite L'analyse de la variance souligne des différences non significatives entre les génotypes  $p= 0,764$  ( $P>0,05$ ).



**Figure 22** : Teneur en protéines (mg/g MF) dans la matière fraîche chez dix génotypes de blé dur

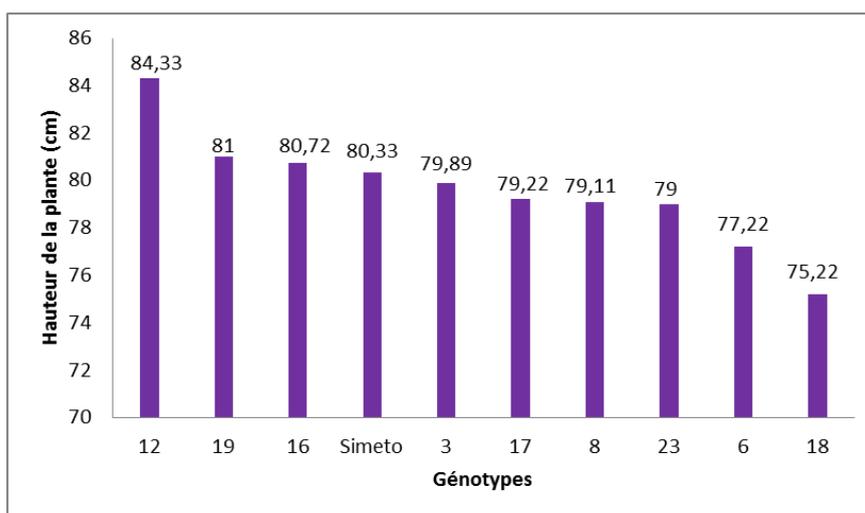
Les protéines jouent un rôle fondamental dans le métabolisme des plantes, notamment dans la photosynthèse, la croissance et l'assimilation des nutriments, tandis que d'autres protéines de réserve, de défense ou de stress participent à l'adaptation et au développement de la plante (Mahi *et al.*, 2016). Les protéines associées au photosystème II assurent la protection des tissus photosynthétiques en facilitant la dissipation de l'énergie lumineuse excédentaire, maintenant ainsi l'efficacité de la photosynthèse et réparant les dommages causés par la photoinhibition (Guidi & Calatayud, 2019). Une faible teneur en protéines peut être un indicateur physiologique négatif, révélant une carence nutritionnelle, un stress abiotique ou une sénescence prématurée, ce qui affecte le rendement final (Zhao *et al.*, 1999). Par ailleurs, chez le blé dur (*Triticum durum Desf*), les protéines influencent fortement la qualité technologique des grains. Elles sont responsables de la formation du gluten, déterminant

l'élasticité et la cohésion de la pâte, des critères essentiels pour la fabrication de produits transformés comme les pâtes alimentaires. Ainsi, la quantité et la qualité protéique conditionnent la fermeté, la tenue à la cuisson et la couleur du produit final (Delcour & Hosney, 2010).

### 3. Les paramètres morphologiques

#### 3.1. Hauteur de la plante

Parmi les génotypes étudiés, V12 a présenté la hauteur la plus élevée, ce qui peut traduire une meilleure vigueur de croissance. À l'opposé, V18 a affiché la hauteur la plus faible, indiquant une croissance verticale plus limitée. La hauteur moyenne générale enregistrée dans cet essai est de 79,6 cm, et l'analyse statistique a révélé que les différences entre les génotypes ne sont pas significatives  $p = 0,223$  ( $p > 0,05$ ).



**Figure 23** : Hauteur de la plante (cm) en fonction des génotypes de blé dur

La hauteur des plantes est un caractère morpho-physiologique fondamental qui reflète la vigueur générale du génotype. Une plante plus haute, indique souvent une meilleure activité métabolique, un bon enracinement et une capacité supérieure à capter la lumière, ce qui favorise la photosynthèse et donc la production de biomasse (Ahmed *et al.*, 2016). Par ailleurs, une certaine hauteur peut améliorer la compétitivité de la plante vis-à-vis des adventices et sa tolérance aux stress modérés (Lanning *et al.*, 2012).

Cependant, une taille excessive peut exposer la plante à un risque accru de verse, surtout en cas de vents forts ou de fortes pluies. À l'inverse, des génotypes plus courts, comme V18, peuvent indiquer une croissance restreinte due à un stress hydrique, à une déficience nutritionnelle ou à une faible expression génétique de la vigueur (Bai *et al.*, 2019).

### 3.2. Longueur d'épi

L'analyse de la longueur des épis a permis d'identifier que le génotype V12 présente la longueur d'épi la plus élevée, reflétant un meilleur potentiel de rendement. À l'inverse, le génotype V23 affiche la longueur d'épi la plus faible parmi les génotypes étudiés. La longueur moyenne générale des épis est de 8,0 cm. L'analyse statistique confirme que ces différences sont très hautement significatives ( $p < 0,001$ ).

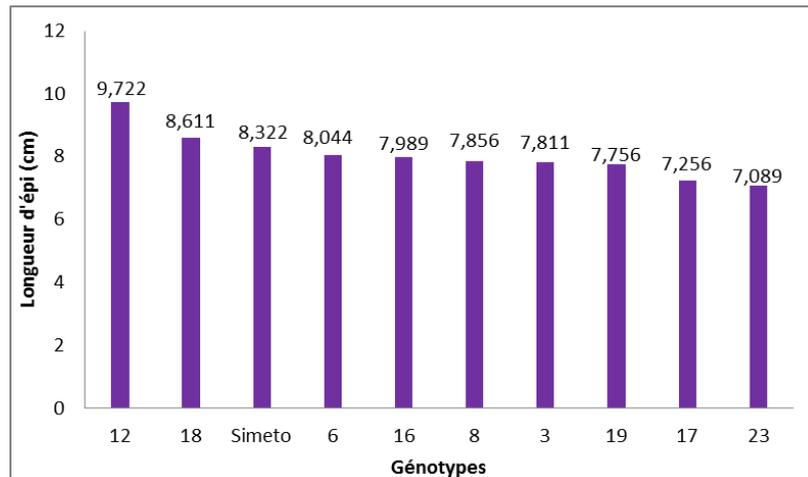


Figure 24 : Longueur d'épi chez dix génotypes de blé dur

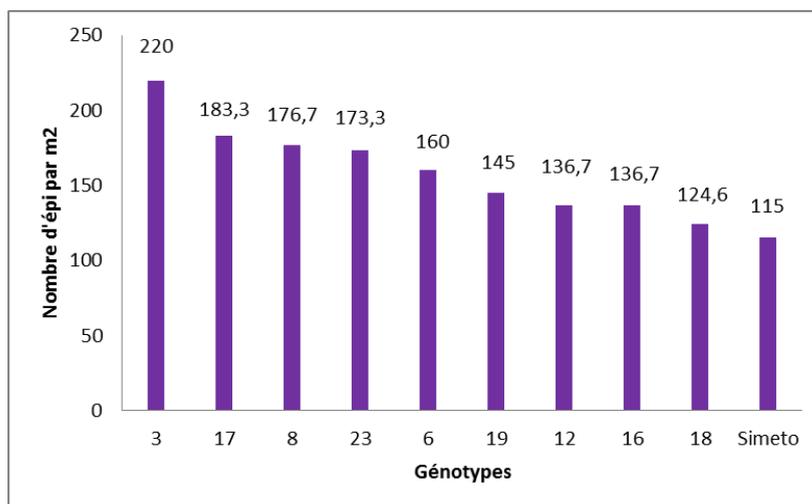
La longueur des épis est souvent influencée par la densité des épis et le nombre total d'épilletts par épi. En effet, une densité plus élevée d'épis peut parfois réduire la longueur des épis en raison de la compétition pour les ressources. Par ailleurs, un nombre élevé d'épilletts par épi contribue généralement à allonger la longueur totale de l'épi, améliorant ainsi le potentiel de rendement (Zhang *et al.*, 2021). La longueur des épis est un trait important lié au rendement potentiel des génotypes. Des études récentes ont montré que des génotypes présentant des épis plus longs, ont une meilleure capacité à produire des grains en quantité et qualité (Singh *et al.*, 2018). À l'inverse, les génotypes avec des épis plus courts, comme V23, tendent à avoir un rendement réduit sous conditions similaires (Kumar *et al.*, 2023).

## 4. Les paramètres Agronomiques

### 4.1. Nombre d'épis par m<sup>2</sup>

La figure ci-dessus illustre les variations du nombre d'épis par m<sup>2</sup> selon les différents génotypes étudiés. Le génotype V3 a enregistré la valeur la plus élevée (220 épis), suivi par V17, V8, V23 et V6, toutes supérieures à la moyenne générale estimée à 157,1 épis. Ces génotypes pourraient indiquer une meilleure densité d'épis dans les conditions expérimentales. En revanche, le génotype Simeto a affiché la valeur la plus faible (115 épis),

suggérant une densité plus réduite. L'analyse statistique a révélé que les différences entre les génotypes ne sont pas significatives  $p=0.312$  ( $p > 0,05$ ).

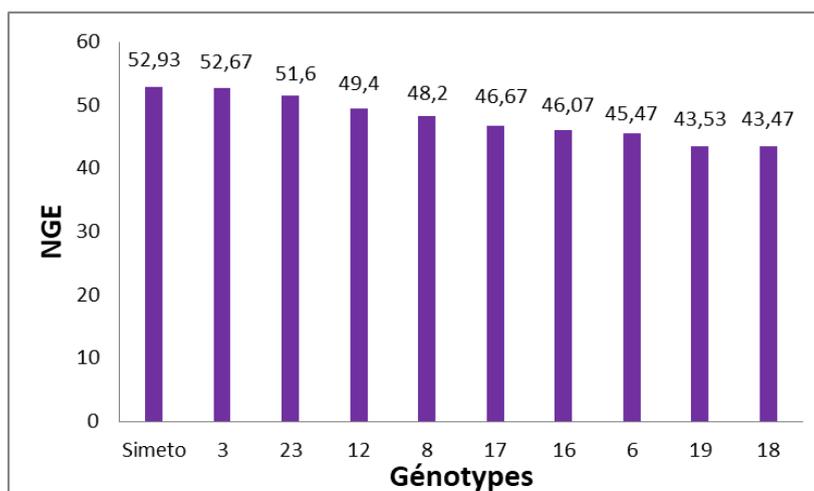


**Figure 25** : Le nombre d'épis par mètre chez dix génotypes de blé dur

Le nombre d'épis par mètre carré est un critère agronomique essentiel qui influence directement le rendement en grains chez le blé (**Qabili et al., 2013 ; Sayre et al., 1997**). Une augmentation du nombre d'épis fertiles par unité de surface permet généralement d'augmenter le nombre total de grains produits. Les variétés de blé ayant un nombre élevé d'épis/m<sup>2</sup> tendent à avoir une meilleure productivité, même si la taille ou le poids des grains peut fluctuer selon les conditions climatiques et génétiques (**Rebetzke et al., 2016**). Cependant, une densité trop élevée d'épis peut entraîner une compétition entre les plantes, réduisant le nombre de grains par épi ou leur poids, surtout en cas de stress ou de carence en ressources (**Oury & Godin, 2007 ; Fischer, 2008**).

#### 4.2. Nombre de grains par épi

L'analyse du nombre de grains par épi révèle une moyenne générale de 48 grains. La variété témoin Simeto a enregistré la valeur la plus élevée (52,93 grains par épi), suivie par les génotypes V3, V23, V12 et V8, qui ont également affiché des performances supérieures à la moyenne. Ces derniers montrent ainsi un potentiel agronomique intéressant en termes de fertilité des épis. En revanche, le génotype V18 a présenté la valeur la plus faible (43,47), indiquant une performance inférieure sur ce critère. L'analyse statistique a révélé que les différences entre les génotypes ne sont pas significatives  $p = 0,663$  ( $p > 0,05$ ).

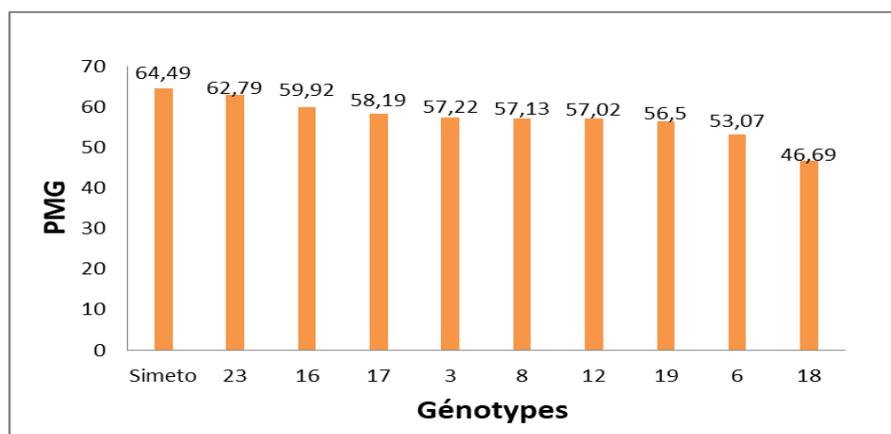


**Figure 26** : Nombre de grains par épi chez dix génotypes de blé dur

Le Nombre de Grains par Épi (NGE) constitue une composante essentielle du rendement final du blé. Il est déterminé par le nombre d'épillets par épi et la fertilité de chaque épillet, c'est-à-dire le nombre de fleurs effectivement fécondées (Slafer *et al.*, 2015). On a observé une différence notable du NGE entre les génotypes. Des valeurs plus hautes du NGE indiquent une fertilité florale supérieure ou un développement des grains plus performant, comme mentionné également par (González *et al.*, 2011). Ils ont mis en évidence que l'allongement de la période de floraison ou une activité photosynthétique accrue pendant le remplissage des grains peut augmenter le NGE. En revanche, les plus faibles valeurs, suggérant une sensibilité accrue aux facteurs environnementaux ou une moindre capacité de compensation. Cette variabilité génétique peut être exploitée pour améliorer le rendement par sélection des génotypes les plus performants (Sadras & Calderini, 2021).

### 4.3. Poids de mille grains (PMG)

La moyenne générale du poids de mille grains (PMG) des génotypes étudiés est de 57,30 g. Le génotype Simeto a enregistré la valeur la plus élevée (64,49 g), traduisant une bonne capacité de remplissage des grains. En revanche, le génotype 18 a présenté la valeur la plus faible (46,69 g), indiquant un développement réduit des grains. L'analyse statistique confirme que ces différences sont hautement significatives  $p= 0,009$  ( $p < 0,01$ ).



**Figure 27:** Poids de mille grains (PMG) de dix génotypes de blé dur

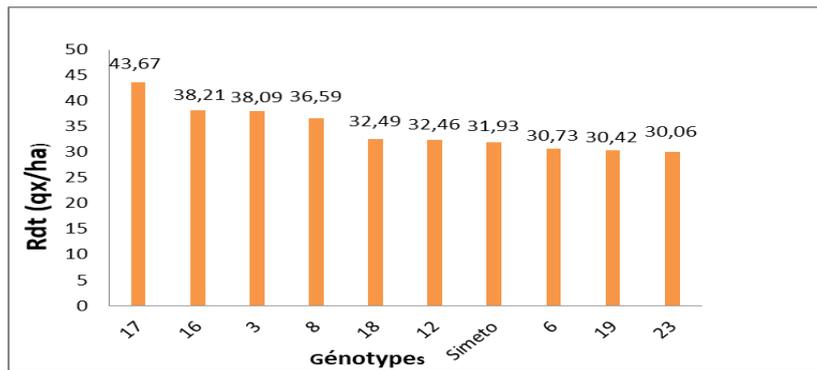
En conditions subhumides, une forte valeur de PMG est généralement corrélée à un rendement plus stable et une meilleure aptitude technologique, car les conditions modérées permettent un développement plus complet des grains sans exposition à des stress hydriques extrêmes (**Fischer *et al.*, 2008**).

D'autres études (**Shearman *et al.*, 2005 ; Ehdai *et al.*, 2008**) ont montré que la capacité à bien remplir les grains est un trait décisif pour maintenir la performance en climat tempéré à subhumide, grâce à une meilleure répartition des assimilats et à l'utilisation des réserves pré-anthèse.

#### **4.4. Rendement en grains**

Le rendement en grains est le résultat de l'interaction entre les composantes agronomiques (nombre d'épis, nombre de grains par épi, et PMG). La moyenne générale est 34,6 qx /ha Les génotypes V17 s'est distingué le rendement le plus élevé (43,6 qx/ha) , suivi des génotypes V16 , V3 et V 8 confirmant leur performance agronomique favorable .En revanche, V19 et V23 ont montré les rendements les plus faibles.

L'analyse statistique a révélé que les différences entre les génotypes ne sont pas significatives  $p= 0,600$  ( $p > 0,05$ ).



**Figure 28** : Rendement (qx/ha) de dix génotypes de blé dur)

Plusieurs études confirment comme: ( **Shearman et al.,2005** et **Ehdaie et al. 2008**) montrent qu'un nombre élevé de grains par épi et un PMG supérieur sont déterminants pour un bon rendement, notamment dans les zones tempérées à subhumides. De plus, El **Fakhri et al., (2012)** soulignent que, dans des climats subhumides similaires à Mitidja, la stabilisation du rendement dépend fortement de la capacité des grains à bien se remplir, ce qui fait de ces traits des indicateurs fiables de tolérance aux variations environnementales.

# Conclusion

.Cette recherche a évalué dix génotypes de blé dur dans les conditions agro-climatiques subhumides de l'INRA de Baraki, en tenant compte des critères morpho-phénologiques, physiologiques et agronomiques. L'analyse a mis en évidence des disparités significatives entre les génotypes, mettant en valeur l'excellence de certains comme Simeto et V12 . Ces derniers ont affiché des performances globales notables en termes de productivité, de vigueur végétative et de qualité physiologique. À l'inverse, d'autres génotypes ont présenté certaines contraintes, qui pourraient néanmoins être surmontées par une gestion agronomique adaptée. Globalement, les résultats obtenus sont en accord avec plusieurs travaux antérieurs ayant souligné l'intérêt agronomique des génotypes comme Simeto dans des contextes similaires. Ces génotypes prometteurs constituent donc une ressource précieuse pour les programmes d'amélioration variétale, particulièrement dans un contexte de variabilité climatique croissante en Algérie. Toutefois, des essais pluriannuels et multi-sites demeurent indispensables afin de confirmer leur stabilité et leur capacité d'adaptation. Ces résultats peuvent ainsi contribuer à orienter les choix variétaux et les stratégies agricoles futures, dans une perspective de sécurité alimentaire durable.

# **Références bibliographiques**

- **Adama. (2021, 19 avril).** Les différents stades BBCH de développement du blé.
- **Agence canadienne d'inspection des aliments. (2022).** La biologie du *Triticum turgidum* ssp. durum (blé dur).
- **Ahmad, I., Hussain, M., Khan, M. A., Shahzad, B., & Rehman, A. (2022).** Conferring of drought tolerance in wheat (*Triticum aestivum* L.). *Frontiers in Plant Science*.
- **Ahmed, M., Ali, M., Hussain, M., & Khan, A. (2016).** Genetic variation in plant height and its relation to biomass and yield in durum wheat under drought conditions. *Journal of Plant Breeding and Genetics*, 4(2), 65–72.
- **Algérie Éco. (2023).** Ministre de l'Agriculture : La production de blé dur couvre 95 % des besoins nationaux.
- **Allard, R. W. (1999).** Principles of plant breeding (2nd ed.). *John Wiley & Sons*.
- **Ammar, K., Nachit, M. M., El Bouhssini, M., & Ortiz-Ferrara, G. (2006).** Amélioration génétique du blé dur : progrès récents et perspectives. *ICARDA, Alep, Syrie*.
- **APG IV. (2016).** An update of the Angiosperm Phylogeny Group classification for the orders and families of flowering plants. *Botanical Journal of the Linnean Society*, 181(1), 1–20.
- **Bai, C., Liang, Y., & Hawkesford, M. J. (2019).** Genetic regulation of plant height and drought adaptation in wheat. *Euphytica*, 215(6), 1–17.
- **Bastos, C., & Fischer, R. A. (2019).** Modulation of wheat yield components in response to different management practices. *Frontiers in Plant Science*.
- **Belabid, L., Abid, S., & Hadj-Seleem, F. (2020).** Contraintes majeures de la production céréalière en Algérie. *Bulletin Agronomique*, 22(1), 33–41.
- **Bélangier, G., & Gastal, F. (2000).** Physiologie de la croissance et du développement des plantes fourragères. In J. Jouany (Éd.), *Utilisation des fourrages par les ruminants* (pp. 47–74). *INRA Éditions*
- **Bousba, R., Ykhlef, N., & Djekoun, A. (2009).** Water use efficiency and flag leaf photosynthetic contribution to grain yield in durum wheat. *World Journal of Agricultural Sciences*, 5(5), 609–616.
- **Bouzidi, I. (2019).** Comparaison entre la mesure du taux de la chlorophylle et le dosage de sa teneur par spectrophotométrie : comparaison évolutive de la sénescence de quelques variétés de blé dur (*Triticum durum* Desf.) [Mémoire de Master, Current

- **Bozzini, A. (2004).** Origin, *distribution and production of durum wheat in the world*. In C. Royo, M. M. Nachit, N. Di Fonzo, & J. L. Araus (Eds.), *Durum wheat breedin*
- **Carlsen, C. U., Møller, J. K. S., & Skibsted, L. H. (2004).** Heme-iron in lipidoxidation. *Coordination ChemistryReviews*, 248(3–4), 337–356.
- **Charrier, A., Jacquot, M., Hamon, S., & Nicolas, D. (2001).** Amélioration des plantes tropicales. *Montpellier : CIRAD*.
- **Chourghal, N., & Hartani, T. (2020).** Quelle stratégie de semis du blé dur en Algérie pour s’adapter au changement climatique ? *Cahiers Agricultures*, 29, 1-9.
- **Clark, J. M., & MacCaig, T. N. (1982).** Evaluation of stress tolerance in wheat. *Crop Science*, 22(3), 503–506.
- **Clarke, J. M., & Knox, R. E. (2002).** Inheritance of stem solidness in durumwheat. *Canadian Journal of Plant Science*, 82(4), 661–664.
- **Couvreur, F. (1985).** Élaboration du rendement du blé : formation des composantes du rendement. *Agronomie*, 5(3), 123-130
- **Crétois, A. (1985).** Valeur technologique de quelques variétés de blé. *Bulletin des Industries des Céréales*, 20, 26–32.
- **D. J., & Slafer, G. A. (2011).** Wheat floral fertility after drought stress during stem elongation. *Field Crops Research*, 122(1), 40–46
- **Delcour, J. A., & Hoseney, R. C. (2010).** Principles of Cereal Science and Technology (3<sup>e</sup> éd.). *AACC International*.
- **Dvorak, J., Deal, K. R., Luo, M. C., You, F. M., von Borstel, K., & Dehghani, H. (2006).** The origin of spelt and free-threshing hexaploid wheat. *Journal of Heredity*, 97(6), 627–637.
- **Edwards, J. (2017).** Estimatingwheat grain yieldpotential. Oklahoma State University Extension, *FactSheet* PSS2149.
- **Ehdaie, B., Waines, J. G., Amri, A., & Esfahani, M. (2008).** A QTL associatedwith free grain weight and grain size in wheatunderdrought stress. *Journal of ExperimentalBotany*, 59(13), 3781–3788.
- **El Fakhri, M., Mahboub, S., Benchekroun, M., &Nsarellah, N. (2012).** Grain filling and stem accumulation effects on durumwheat (*TriticumdurumDesf.*) *yieldunderdrought*. *Revue Nature et Technologie*, 4(2), 67–73.
- **El Watan. (2024).** Avec des prévisions d’achat, l’OAIC rassure sur la disponibilité du blé dur.

- **FAO. (2021).** The State of Food and Agriculture 2019. Rome: *Food and Agriculture Organization of the United Nations*.
- **Feldman, M., & Levy, A. A. (2015).** Origin and evolution of wheat and related Triticeae species. In A. P. Bonjean, W. J. Angus, & M. van Ginkel (Eds.), *The World Wheat Book: A History of Wheat Breeding* (Vol. 3, pp. 3–64). Lavoisier
- **Feuillet, P. (2000).** Le grain de blé : composition et utilisation. *Éditions Quae, INRA*.
- **Figuroa-Bustos, V., Palta, J. A., Chen, Y. L., Siddique, K. H. M., & Vadez, V. (2022).** *Early flowering and maturity improves wheat (Triticum aestivum L.) performance under water-limited conditions in the Mediterranean-type environment.* *Plants*, 11(3), 345.
- **Fischer, R. A. (1985).** Number of kernels in wheatcrops as a component of yield.
- **Fischer, R. A., Byerlee, D., & Edmeades, G. (2008).** *Wheat Yield Progress under Stress Environments. Crop Science*.
- **Gate, P. (1995).** *Écophysiologie du blé : de la plante à la culture.* Paris, France :
- **GIE Blé Dur. (2017).** L'histoire du blé dur dans le monde. González, F. G., Miralles,
- **González, F. G., Miralles, D. J., & Slafer, G. A. (2011).** Wheat floral fertility after drought stress during stem elongation. *Field Crops Research*, 122(1), 40–46
- **Gregersen, P. L., Holm, P. B., & Krupinska, K. (2008).** Leaf senescence and nutrient remobilisation in barley and wheat. *Plant Biology*, 10(s1), 37–49
- **Guidi, L., & Calatayud, A. (2019).** Non-invasive tools to estimate stress-induced changes in photosynthetic performance in plants. *Environmental and Experimental Botany*, 161, 148–164.
- **Guidi, L., Lo Piccolo, E., & Landi, M. (2019).** Chlorophyll fluorescence, photoinhibition and abiotic stress in plants. *Frontiers in Plant Science*, 10, 174.
- **Hassous, L., Bouzerzour, H., & Benmahammed, A. (1998).** Contribution de la biomasse aérienne et de la surface foliaire au rendement du blé dur sous différentes conditions de nutrition hydrique. *Cahiers Agricultures*, 7(6), 452–457 .
- **Henni, M. A. (2023, juin).** Déclaration rapportée par Algérie Eco sur la couverture des besoins nationaux en blé dur.
- **Hénin, F. (2025).** Le marché mondial du blé dur : état des lieux et perspectives.
- **Herring, D., & Weier, J. (2000).** Measuring vegetation (NDVI & EVI). *NASA Earth Observatory. Journal of Agricultural Science*, 105(2), 447–461.
- **Khayatnezhad, M., Gholamin, R., Jamaati-e-Somarin, S. H., & Zabihi-e-Mahmoodabad, R. (2010).** Effects of water stress on yield and yield components of

durum wheat (*Triticum durum* Desf.) cultivars. *African Journal of Biotechnology*, 9(2), 144–151.

- **Kirouani, A., OuldKiar, R., Boukhalfoun, L., & Fellahi, Z.** (2019). Caractérisation de quelques variétés algériennes de blé dur en conditions pluviales. *Revue Agriculture*, 10(2), 110–118.
- **Knox, R. E.** (2002). Inheritance of stem solidness in durumwheat. *Canadian Journal of Plant Science*, 82(4), 661–664.
- **Kumar, A., Patel, N., & Singh, V.** (2023). Variation in spike traits among Indian wheat genotypes. *Plant Breeding and Biotechnology*, 11(1), 45–52.
- **Laala, Z.** (2011). Analyse en chemin des relations entre le rendement et certains caractères morphologiques chez le blé dur (Mémoire de Magister). UFAS, Algérie.
- **Lacoudre, F.** (2022). Sélection du blé dur : essayer de répondre à toutes les attentes.
- **Lanning, S. P., Fox, P. N., & Talbert, L. E.** (2012). Plant height and lodging resistance in hard red spring wheat. *Crop Science*, 52(2), 875–882. *Lavoisier Technique & Doc*.
- **Li, S., Wang, H., Zhang, Y., & Liu, Y.** (2015). NDVI-based analysis on climate and human impact on vegetation in China. *Remote Sensing*, 7(9), 11163–11182.
- **Lichtenthaler, H. K.** (1996). Vegetation stress: an introduction to the stress concept in plants. *Journal of Plant Physiology*, 148(1–2), 4–14.
- **Lounes, A., & Guerfi, Y.** (2010). *Contribution à l'étude du comportement agronomique de quelques variétés de blé dur* (Mémoire d'ingénieur). Université de Tizi-Ouzou.
- **Maccaferri, M., Harris, N. S., Twardziok, S. O., Pasam, R. K., Gundlach, H., Spannagl, M., ... & Tuberosa, R.** (2019). Durum wheat genome highlights past domestication signatures and future improvement targets. *Nature Genetics*, 51(5), 885–895.
- **Madani, I.** (2019). Plasticité du système racinaire et tolérance à la sécheresse chez le blé dur (Thèse). Université de Montpellier.
- **Mahi, M., Benmahammed, A., & Khelifi, L.** (2016). *Étude biochimique de dix variétés de blé dur*. Université Mentouri Constantine.
- **Malhi, S. S., Johnston, A. M., Schoenau, J. J., Wang, Z. H., & Vera, C. L.** (2007). Seasonal biomass accumulation and nutrient uptake of wheat, barley and oat on a Black Chernozem soil in Saskatchewan. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 38(15-16), 2161-2178.

- **Mekhlouf, A., Bouzerzour, H., Harkati, N., & Benchikh, D. (2006).** Adaptation des variétés de blé dur aux conditions agroclimatiques de Sétif. *Céréaliculture Algérienne*, 18(2), 30–36.
- **Morris, H. T., & Sears, E. R. (1967).** The origin of wheat. In *Wheat and Wheat Improvement* (pp. 1–30). *American Society of Agronomy*.
- **Ondo, E. O. (2014).** *Caractérisation d'une collection de variétés anciennes de blé dur pour la sélection en zone méditerranéenne* (Thèse de doctorat). Université de Bourgogne.
- **Oudina, A., Briffaux, A., & Bouzerzour, H. (1988).** L'irrigation d'appoint des céréales : intérêt et résultats. *Céréaliculture*, 18, 1–6. *Semence Mag*
- **Ounzar, L. (2012).** Caractérisation agro-morphologique et génétique de quelques variétés marocaines de blé dur (*Triticum durum Desf.*) [Thèse de doctorat, Institut Agronomique et Vétérinaire Hassan II].
- **Oury, F. X., & Godin, C. (2007).** Yield and grain protein concentration in bread wheat: how to use the negative relationship between the two characters to identify favourable genotypes. *Euphytica*, 157(1–2), 45–57
- **Pinto, M., Araus, J. L., & Reynolds, M. P. (2016).** NDVI comme marqueur de vigueur végétale. *Frontiers in Plant Science*, 7, 199.
- **Prats, P. (1966).** Recherches sur la biologie florale du blé. *Annales de l'Amélioration des Plantes*, 16(1), 1–25.
- **Qabili, M., Bentchikou, M. M., & Bouzerzour, H. (2013).** Évaluation de la stabilité du rendement de variétés de blé dur (*Triticum durum Desf.*) dans les Hauts Plateaux sétifiens. *Revue Agriculture*, 7(2), 56–65.
- **Rezgui, M., Zairi, A., Bizid, E., & Ben Mechlia, N. (2005).** Consommation et efficacité d'utilisation de l'eau chez le blé dur cultivé en conditions pluviales et irriguées en Tunisie. *Cahiers Agricultures*, 14, 391–398.
- **Sabella, E., Aprile, A., Leone, M., Ronga, D., & De Pascale, S. (2020).** Impact of climate change on durum wheat yield and phenology. *Agronomy*, 10(5), 697.
- **Sadras, V. O., & Calderini, D. F. (2021).** Crop physiology: Case histories for major crops. *Academic Press*.
- **Sakr, N., Rhazi, L., & Aussenac, T. (2021).** *Bread Wheat Quality under Limiting Environmental Conditions I: Molecular Properties of Storage Proteins and Starch Constituents in Mature Grains*. *Agriculture*, 11(4), 289
- **Sall, A. T., Al-Taweel, K., El Bouhssini, M., Kehel, Z., Amri, A., & Baum, M.**

- (2019). *Durum Wheat (Triticum durum Desf.): Origin, Cultivation and Potential Expansion in Sub-Saharan Africa. Agronomy*, 9(5), 263.
- **Sayre, K. D., Rajaram, S., & Fischer, R. A. (1997).** Yield potential progress in short bread wheats in northwest Mexico. *Crop Science*, 37(1), 36–42
  - **Shavrukov, Y., Kurishbayev, A., Jatayev, S., Shvidchenko, V., Zotova, L., Koekemoer, F., de Groot, S., Soole, K., & Langridge, P. (2017).** Early flowering as a drought escape mechanism in plants: How can it aid wheat production? *Frontiers in Plant Science*, 8, 1950.
  - **Shearman, C. L., Sylvester-Bradley, R., Scott, R. K., & Foulkes, M. J. (2005).** Physiological processes associated with wheat yield Progress in the UK. *Crop Science*, 45(1), 175–185.
  - **Singh, R., Sharma, P., & Kumar, S. (2018).** Impact of spike length and number of spikelets on wheat yield. *Journal of Crop Improvement*, 32(4), 462–470.
  - **Slafer, G. A., & Rawson, H. M. (1994).** Sensitivity of wheat phasic development to major environmental factors: A re-examination of some assumptions made by physiologists and modellers. *Functional Plant Biology*, 21(4), 393–426.
  - **Slafer, G. A., Savin, R., & Sadras, V. O. (2015).** Coarse and fine regulation of wheat yield components in response to genotype and environment. *Field Crops Research*, 182, 1–3.
  - **Soltner, D. (2005).** Les bases de la production végétale (22<sup>e</sup> éd.). Collection Sciences et Techniques Agricoles.
  - **Soualmia, B. (2014).** Étude comparative de l'effet de trois types d'engrais sur la croissance du blé dur (Mémoire de Master). Université 08 Mai 45, Guelma.
  - **Srivastava, L. M. (1988).** Plant Growth and Development: Hormones and Environment. *Academic Press*.
  - **Stefanova-Dobreva, S., & Muhova, A. (2024).** Thousand kernel weight of durum wheat (*Triticum durum* Desf.) over a 30-year period as affected by mineral fertilization and weather conditions. *Bulgarian Journal of Agricultural Science*, 30(2), 247–253.
  - **Tessema, T. T., Alemu, M. M., & Abebe, T. A. (2024).** Screening drought-tolerant durum wheat genotypes using morpho-physiological traits. *Agronomy Journal*, 116(2), 401–412
  - **Thomé, O. W. 1885.** Flora von Deutschland, Österreich und der Schweiz. Gera, Germany. Botanical illustration of *Triticum aestivum* and *T. turgidum* (incl. durum).

*Public domain .*

- **Triboi, E., & Triboi-Blondel, A. M. (2002).** Productivity and grain or seed composition: A new approach to an old problem. *European Journal of Agronomy*, 16, 163–186.
- **Tucker, C. J. (2005).** Vegetation indices for assessing vegetation characteristics in remote sensing. *Remote Sensing of Environment*, 51(3), 230–248.
- **Ugarte, C., Calderini, D. F., & Slafer, G. A. (2007).** Grain number and grain weight responsiveness to pre-anthesis temperature and radiation in wheat. *Field Crops Research*, 100(3), 240–248.
- **Zadoks, J. C., Chang, T. T., & Konzak, C. F. (1974).** A decimal code for the growth stages of cereals. *Weed Research*, 14(6), 415–421
- **Zhang, H., Li, J., & Wang, Q. (2021).** Effects of spikedensity and plant height on wheatyield. *Crop Science*, 61(3), 1400–1409.
- **Zhao, F. J., Hawkesford, M. J., & McGrath, S. P. (1999).** Sulphur assimilation and effects on yield and quality of wheat. *Journal of Cereal Science*, 30(3), 269–279.
- **Zouaoui, A., & Bensaid, R. (2007).** Détermination des exigences climatiques du blé dur. *Cahiers Agricultures*, 16(6), 469–476.

# ANNEXES

## Résultats des paramètres phénologiques et physiologique

Génotypes	Date	DPV (Jrs)	NDVI 27/4	TRE	CHL 07/4	protéine (mg/g MVF)
3	16_03	90	0,36	77,32	57,8	3,828
3	16_03	90	0,31	80,00	58,6	8,293
3	16_03	90	0,3	74,67	57,8	4,785
6	18_03	92	0,39	79,07	55	2,552
6	16_03	90	0,36	82,11	51,2	6,911
6	18_03	92	0,35	87,14	70	5,210
8	23_03	97	0,45	70,10	53,5	2,233
8	16_03	90	0,33	75,36	54,1	6,911
8	18_03	92	0,31	82,76	74,1	4,466
12	06_04	111	0,52	72,17	61,2	6,273
12	23_03	97	0,51	73,15	57,5	8,293
12	06_04	111	0,51	79,46	73,8	5,848
16	18_03	92	0,37	80,72	54	4,040
16	16_03	90	0,36	75,00	57,6	1,701
16	16_03	90	0,3	80,21	57,7	6,380
17	16_03	90	0,3	74,23	49,6	2,977
17	16_03	90	0,3	76,29	54,1	3,296
17	16_03	90	0,25	78,49	57,5	3,402
18	23_03	97	0,41	76,40	55,6	4,785
18	18_03	92	0,31	78,02	55,1	4,359
18	18_03	92	0,35	79,80	54,1	4,891
19	16_03	90	0,36	71,91	59,5	6,911
19	16_03	90	0,35	76,09	55,3	5,529
19	16_03	90	0,38	77,55	55,9	9,038
23	23_03	97	0,49	66,28	51,7	10,207
23	18_03	92	0,41	80,39	53	5,104
23	23_03	97	0,45	78,65	58,2	2,552
Simeto	06_04	111	0,47	85,51	80	1,701
Simeto	23_03	97	0,44	77,78	83,5	13,184
Simeto	23_03	97	0,46	79,76	80	4,147

## Résultats des paramètres morphologiques et agronomiques

Génotypes	N épi mètre linéaire	HT (cm)	LE (cm)	N(épi /m <sup>2</sup> )	NG/5 épis	PMG	Rdt (g/m <sup>2</sup> )	Rdt (qx/ha)
3	44	76,7	7,8	220	253	62,0553	384,8	42,33
3	49	79,3	7,6	245	239	48,5356	265,4	29,19
3	39	83,7	8,0	195	298	61,0738	388,6	42,75
6	40	70,7	8,3	200	173	49,1329	226,8	24,95
6	25	81,3	7,7	125	245	55,9184	381	41,91
6	31	79,7	8,2	155	264	54,1667	230,3	25,33
8	54	74,7	8,4	270	231	64,0693	306,2	33,68
8	20	80,0	7,5	100	247	53,0364	332,1	36,53
8	32	82,7	7,6	160	245	54,2857	359,7	39,57
12	17	80,3	9,3	85	230	50,8696	293,8	32,32
12	30	82,3	9,8	150	210	62,3810	287,9	31,67
12	35	90,3	10,0	175	301	57,8073	303,5	33,39
16	40	79,3	7,8	200	212	58,4906	190,8	20,99
16	22	79,7	7,6	110	219	61,6438	497,9	54,77
16	20	0,0	8,6	100	260	59,6154	353,3	38,86
17	48	79,7	7,1	240	201	59,2040	439,7	48,37
17	24	80,7	7,0	120	224	59,3750	383,4	42,17
17	38	77,3	7,7	190	275	56,0000	367,8	40,46
18	24	71,3	9,0	120	214	52,3364	256,7	28,24
18	0	74,0	8,5	0	188	45,7447	307,5	33,83
18	30	80,3	8,3	150	250	42,0000	321,9	35,41
19	24	80,3	8,5	120	223	56,0538	278,4	30,62
19	39	86,3	7,8	195	214	53,7383	265,8	29,24
19	24	76,3	6,9	120	216	59,7222	285,5	31,41
23	32	77,0	6,8	160	300	63,3333	285,8	31,44
23	32	77,0	6,5	160	200	63,0000	199,7	21,97
23	40	83,0	8,0	200	274	62,0438	334,2	36,76
Simeto	33	78,3	8,5	165	269	66,1710	251,4	27,65
Simeto	11	78,7	8,0	55	315	61,5873	424,5	46,70
Simeto	25	84,0	8,5	125	210	65,7143	195	21,45

## Préparation de Réactif de Bradford

D'abord, nous avons pesé 100 mg de bleu de Coomassie G-250 à l'aide d'une balance de précision, que nous avons placés dans un bécher propre. Ensuite, nous avons mesuré 50 mL d'éthanol à 95 % dans une éprouvette graduée. Après on a versé une petite quantité d'éthanol sur le bleu de Coomassie afin de faciliter sa dissolution, puis transféré le mélange dans un flacon d'un litre, placé sur un agitateur magnétique. À chaque fois que le bécher se vidait, nous rajoutions un peu d'éthanol pour rincer les résidus et transfériions le tout progressivement dans le flacon, jusqu'à ce que la totalité du colorant soit complètement transférée et dissoute. Par la suite, nous avons mesuré 100 mL d'acide orthophosphorique à 85 % dans une autre éprouvette, que nous avons ajoutés au même flacon contenant le bleu de Coomassie dissous. Le flacon a été replacé sur l'agitateur pour assurer un bon mélange. Enfin, nous avons complété le volume total à 1 litre en ajoutant de l'eau distillée jusqu'au trait de jauge. Une étiquette a été apposée sur le flacon, indiquant le nom de solution (réactif de Bradford) ainsi que la date de préparation (14/4/2025) et recouvert par papier aluminium pour le protéger de la lumière. La solution a ensuite été conservée au réfrigérateur à l'abri de la lumière, en attendant son utilisation.



Figure 29 : Préparation de Réactif de Bradford (INRAA 2025)

## Préparation du tampon d'extraction

La préparation du tampon a nécessité les composés suivants : Tris-HCl, saccharose et  $\beta$ -mercaptoéthanol.

Nous avons commencé par peser 2,40 g de Tris-HCl, auxquels nous avons ajouté 20 g de saccharose. Le mélange a été homogénéisé en ajoutant l'eau distillée. La solution obtenue a ensuite été soumise à un ajustement du pH à l'aide d'un pH-mètre, placé sur un agitateur magnétique. Le pH mesuré étant trop élevé, quelques gouttes d'acide chlorhydrique (HCl) ont été ajoutées progressivement jusqu'à atteindre un pH de 8,1. Sous la hotte aspirante, 100  $\mu$ L de  $\beta$ -mercaptoéthanol ont été ajoutés au mélange à l'aide d'une micropipette. Par la suite, de l'eau distillée a été ajoutée progressivement pour obtenir un volume final de 200 mL.

Enfin, la solution a été transférée dans un flacon propre et soigneusement fermé pour assurer une bonne conservation.



**Figure 30** : Préparation du tampon d'extraction (INRAA 2025)

République Algérienne Démocratique et Populaire  
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la  
Recherche Scientifique  
Université de Blida -1-  
Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie



**Mémoire de fin d'étude**  
**En vue d'obtention du diplôme de Master**  
**Domaine** : Sciences de la Nature et de la Vie  
**Filière** : Sciences Biologiques  
**Spécialité** : Biodiversité et Physiologie Végétale  
**Thème**

**Comparaison morpho-phénologique et agro-physiologique de dix lignées de blé dur (*Triticum durum* Desf) dans la région de Mitidja**

**Réalisé par : Mlle Ghebghoub Fatma Zohra et Mlle Khennous Ikram**

**Soutenu le 01/07/2025 devant le jury composé de :**

Dr. BENSSALAHL	MAA	Présidente	Université de Blida 1
Dr. BENASSEL N	MAA	Examinatrice	Université de Blida 1
Pr. ROUBLA	Professeur	Promoteur	Université de Blida 1
Dr. BACHIRLH	MRB	Co-promoteur	INRAA

**Année universitaire 2024 – 2025**

*Avi favorable*  
M<sup>me</sup> BENASSEL N.  
*[Signature]*