



الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
République Algérienne Démocratique Et Populaire
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي
Ministère De L'enseignement Supérieur Et De La Recherche Scientifique

Université Constantine 1 Frères Mentouri
Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie

جامعة قسنطينة 1 الإخوة منتوري
كلية علوم الطبيعة والحياة

قسم : بиولوجيا النبات Biologie Végétale

Mémoire présenté en vue de l'obtention du Diplôme de Master

Domaine : Sciences de la Nature et de la Vie

Filière : Biotechnologies

Spécialité : Biotechnologie et Génomique Végétale

N° d'ordre :

N° de série :

Caractérisation biochimique des nouvelles obtention du blé dur (*Triticum durum*) et de blé tendre (*Triticum aestivum*) développer à l'INRAA Constantine

Présenté par : ZELLAGUI Malak Lyne

Le 23/06/2025

DJEBBAR Nousseiba

Président: DR KELLOU Kamel (MCA - Université les frères Mentouri Constantine1).

Jury d'évaluation :

Président: DR KELLOU Kamel (MCA - Université les frères Mentouri Constantine1).

Encadrant : DR BENBELKACEM Abdelkader (Directeur de recherche INRAA Constantine).

Examinateur: DR HAMLA chourouk (MCB- Université les frères Mentouri Constantine 1).

**Année universitaire
2024 - 2025**

Remerciement

Avant toute chose, je rends grâce à Dieu Tout-Puissant, source de sagesse, de patience et d'inspiration, qui m'a permis de mener à bien ce travail malgré les difficultés rencontrées.

Je tiens à exprimer ma profonde gratitude à mon encadrant [Mr benbalkacem Abedelkader], pour sa disponibilité, son accompagnement précieux, ses conseils avisés et son soutien constant tout au long de la réalisation de ce mémoire. Sa rigueur scientifique et ses encouragements ont été essentiels à l'aboutissement de ce travail.

Je remercie également les membres du jury, en particulier [Mr . Kellou kamel], président de séance, pour l'attention portée à ce travail, ainsi que [Mme hamla], examinatrice, pour ses remarques pertinentes et constructives qui ont enrichi cette recherche.

Mes remerciements s'adressent aussi à toutes les personnes qui ont contribué de près ou de loin à la réalisation de ce mémoire : amis, collègues, enseignants, membres de la famille, et toute personne ayant apporté son aide, son soutien ou ses encouragements durant cette aventure académique.

À toutes et à tous, je dis merci du fond du cœur

Dédicaces

À mes parents bien-aimés, merci pour votre amour inconditionnel, vos sacrifices silencieux et votre foi en moi. À mes frères et sœurs, merci pour votre présence, vos encouragements et vos sourires qui m'ont tant porté.

À ma douce grand-mère, merci pour ton affection infinie et tes prières, qui m'ont accompagné même dans les moments les plus sombres.

Je tiens également à exprimer ma profonde reconnaissance à Amir, dont le soutien indéfectible et la bienveillance ont fait toute la différence. Tu as été là quand j'en avais le plus besoin, et je ne l'oublierai jamais.

Un grand merci à Malak, mon amie précieuse, pour ta lumière, ta gentillesse et ta présence réconfortante tout au long de cette aventure.

Je souhaite également adresser ma sincère gratitude à mon encadrant, [A.Benbalkacem], pour sa disponibilité, ses conseils éclairés et son accompagnement tout au long de ce travail. Sa rigueur et son soutien m'ont grandement aidée à avancer avec confiance

NOUSSEIBA

Dédicaces

À moi-même,

à celle qui a pleuré en silence, qui a douté, mais n'a jamais abandonné.

À celle qui s'est relevée à chaque chute, seule parfois, mais toujours avec foi.

Ce travail est la preuve que tu es plus forte que tu ne le crois. Sois fière, tu l'as fait.

À Bahaa,

toi qui as été là quand les mots ne suffisaient plus.

Merci pour ton amour qui rassure, ta patience qui apaise, et ta présence qui ne flanche jamais.Tu as été ma lumière dans les jours gris, et ma force dans les silences lourds.

À mes parents,

mes racines, ma paix, mon refuge.Merci pour vos sacrifices, vos prières, votre amour infini.Chaque page de ce travail porte la trace de votre tendresse et de votre foi en moi.

À mes frères et sœurs,

Soumia, Mohamed et Sarah,vous êtes ma joie simple, mon ancrage, mes repères.Merci d'être là, toujours.

À Noussa,mon amie fidèle, ma sœur de cœur.

Ton amitié sincère et douce m'a portée dans bien des tempêtes. Merci d'être toi.

À ma famille,

chaque sourire, chaque mot, chaque geste venant de vous a été un moteur.

Merci pour tout ce que vous êtes dans ma vie

MALAK

Résumé

Résumé

La culture du blé représente un pilier stratégique pour la sécurité alimentaire en Algérie, en raison de sa place centrale dans l'alimentation de base. Dans ce contexte, cette étude vise à caractériser les performances agronomiques, biochimiques et technologiques de nouvelles obtentions variétales de blé dur (*Triticum durum*) et de blé tendre (*Triticum aestivum*), développées par l'Institut National de la Recherche Agronomique d'Algérie (INRAA) à Constantine. Les essais ont été menés durant la campagne agricole 2024/2025 à la station expérimentale de EL KHROUB. L'expérimentation a concerné 10 génotype du blé tendre et 15 du blé dur incluant les variétés témoins bidi 17 et ARZ.

Les paramètres étudiés comprennent l'épiaison, la hauteur des plantes, le nombre d'épis par mètre carré, le nombre de grains par épi, le PMG, ainsi que des propriétés biochimiques telles que la teneur en protéines, le gluten humide et sec, l'humidité, la moucheture et le mitadinage.

Les résultats ont révélé une variabilité inter-génotypique hautement significative. Plusieurs lignées se sont distinguées par un rendement théorique supérieur et une qualité technologique améliorée, suggérant leur intérêt potentiel pour les programmes de sélection. L'approche intégrée combinant des observations au champ avec des analyses biochimiques constitue un outil efficace pour la sélection variétale adaptée aux conditions agro-climatiques locales.

Mots clés:

blé dur _ blé tendre _ gluten _ humidité _caractères agronomique

Abstrac

Abstrac

Wheat cultivation is one of the cornerstones of food security in Algeria due to its dominant role in national consumption patterns. This study aims to assess the agronomic, biochemical, and technological characteristics of new lines of durum wheat (*Triticum durum*) and soft wheat (*Triticum aestivum*) developed by the National Institute of Agronomic Research (INRAA) in Constantine. The field trials were conducted at the El-Khroub experimental station during the 2024/2025 agricultural season. A total of 15 durum wheat genotypes and 10 soft wheat genotypes were evaluated, including the reference varieties 17 Bidi and Arz.

The study investigated phenological and morphological parameters such as heading date, plant height, number of spikes per square meter, grains per spike, and 1000-kernel weight, as well as biochemical properties such as total protein content, wet and dry gluten, moisture, moucheture (spotting), and mitadinage (chalkiness).

Results demonstrated statistically significant variability among genotypes, with several lines outperforming the reference varieties in terms of yield and grain quality. These findings highlight the potential of selected genotypes to be integrated into future breeding programs. The study also emphasizes the importance of combining field performance data with laboratory biochemical analyses to make informed decisions in variety selection under local agro-ecological conditions.

Keywords:

Durum wheat _Soft wheat_Gluten_Moisture__Agronomic traits

ملخص

تشكل زراعة القمح إحدى الدعائم الأساسية للأمن الغذائي في الجزائر، بالنظر إلى الاعتماد الكبير على مشتقاته في النظام الغذائي اليومي. في هذا الإطار، تهدف هذه الدراسة إلى تقييم الخصائص الزراعية والبيو كيميائية لمجموعة من الأصناف الجديدة من القمح الصلب (*Triticum durum*) والقمح اللين (*Triticum aestivum*) المطورة من قبل المعهد الوطني للبحث الزراعي (NRAAI) في فلسطين. تم تنفيذ التجارب الحقلية خلال الموسم الزراعي 2024/2025 بمختبر التجارب بعراوية – الخروب

تم اختبار 15 صنفًا من القمح الصلب و10 أصناف من القمح اللين، بما في ذلك الأصناف الشاهدة بيدي 17 وأرز. وشملت الدراسة قياسات دقيقة لصفات الفنولوجيا والمورفولوجيا مثل توقيت الإزهار، ارتفاع النبات، عدد السنابل في المتر المربع، وعدد الحبوب في السنبلة، بالإضافة إلى مؤشرات الجودة التكنولوجية كالبروتين، الغلوتين، الرطوبة، الميتاديناج والمؤشر.

كشفت النتائج عن تباينات معنوية بين الأصناف المدروسة، سواء من حيث الإنتاجية أو جودة الحبوب، مما يدل على وجود موارد وراثية واعدة يمكن اعتمادها في برامج الانتقاء الوراثي لتحسين المحاصيل. كما أظهرت

بعض الأصناف أداءً متفوقاً مقارنة بالأصناف الشاهدة، ما يعزز إمكانية اعتمادها مستقبلاً في الزراعة الوطنية. تؤكد الدراسة كذلك أهمية دمج التحاليل البيو كيميائية مع التقييم الحقلـي للوصول إلى اختيار دقيق للأصناف

.المثالـية.

الكلمات المفتاحـية

القمح الصـلب _ القـمح اللـين _ الغـلوـتين _ الرـطـوبـة _ الصـفـات الزـرـاعـية

Liste des tableaux

Liste des abréviations et des acronymes

INRAA :Institut National de la Recherche Agronomique d'Algérie

E : épiaison

T: temperatrure

Sr: stem rust

Yr: yellow rust

Lr: leaf rust

Haut: hauteur

RDM: rendement

PMG: poids de mille grains

Prot: proteine

Hum: humidité

Liste des tableaux

Liste des tableaux	Page
Tableau 1 : Comparaison détaillée entre blé dur et blé tendre	18
Tableau 2. Liste des variétés de blé dur étudiées.	24
Tableau 3 : Liste des variétés de blé tendre étudiées	25
Tableau N° 4: pluviométrie moyenne et températures enregistrées pendant l'année à Baaraouia 2024/2025	26
Tableau N°5 : pluviométrie moyenne et températures enregistrées sur 20 ans	26
Tableau N°6 : températures moyennes enregistrées durant la campagne 2024/2025	26
. Tableau N°7: Dispositif expérimental adopté (Baaraouia) 2024/25	27
Tableau N°8 : global d'anova de la partie expérimental	36
Tableau N°9 : Le Tableau global des moyennes (tableau N°) des variétés étudié du blé dur	37
Tableau 10: nombre moyen d'hauteur des variétés du blé dur	38
Tableau N° 11: nombre moyen d'épis par m ² des variétés du blé dur étudiés	40
Tableau 12: nombre moyen de grain par epi des variétés du blé dur étudiés	41
Tableau N°13: poids de 1000 grains des variétés du blé dur étudiés	42
Tableau14 : nombre moyen de rendement théorique des variétés du blé dur étudiés	42
Tableau N°15: Le Tableau global des moyennes des variétés étudié du blé dur	45
Tableau 16: Taux de moucheture des variétés du blé dur étudiées	45
Tableau 17: taux de mitadinage des variétés du blé dur	46
Tableau 18 : Taux de protéines des variétés étudiées du blé dur	47
Tableau 19: gluten sec des variétés étudié du blé dur	48

Liste des tableaux

Tableau 20: taux du gluten humide des variétés du blé dur des variétés utilisées	49
Tableau 21: taux d'humidité des variétés étudiée du blé dur	50
Tableau N°22 : Le Tableau global des moyennes (tableau N°) des différentes variétés du blé Tendre etudié	51
Tableau 23: nombre de moyenne d'hauteur des variétés du blé tendre étudiés	52
Tableau N° 24: nombre moyen d'épis par m ² des variétés du blé tendre étudiés	52
Tableau 25 : nombre moyen de grain par epi des variétés du blé tendre étudiés	53
Tableau 26: nombre moyen de rendement théorique des variétés du blé tendre étudiés	54
Tableau N° 27: Le Tableau global des moyennes des variétés du blé tendre étudié	55
Tableau 28: taux de moucheture des variétés du blé tendre étudiée	55
Tableau 29: taux du protéine des variétés du blé tendre étudié	56
Tableau 30 : gluten sec des variétés utilisé de blé tendre	56
Tableau 31 : gluten humide des variétés utilisées du blé tendre	57
Tableau 32: humidité des variétés de blé tendre étudié	58

Liste des figures

Liste des figures

Les figures	Page
Figure 01 : d'origine et diffusion de Triticum monococcum à travers le monde. (Vilmorin, 1880 dans Bozzini, 1988).	6
Figure 02 : Structure anatomique du grain de blé (Feillet, 2000).	9
Figure 03 : Cycle de développement du blé : Germination, tallage, montaison, épiaison et maturation (octobre à juin)"(Mir et al. ; 2020).	10
Figure 04 : technique d'hybridation (Bassi et al., 2019).	13
Figure 5: Image satellite de la parcelle de l'essai à El Baraouia-El Khroub	23
Figure 6: compteur à grains électronique (Numigral)	30
Figure7 :balance de précision	30
Figure8: appareil pour mesurer le taux de protéine NIR INFRAMATIC	32

Liste des annexes

Liste des annexes

- Annexe a1 : analyse de variance d'épiaison
- Annexe a2:analyse de variance de la hauteur
- Annexe a3: analyse de variance d'épo /m²
- Annexe a4 : analyse de variance de nombre de grain /épi
- Annexe a5 : analyse de variance de PMG
- Annexe a6: analyse de variance du RDM théorique
- Annexe a 7: analyse de variance de taux de protéines
- Annexe a8 : analyse de variance du gluten sec
- Annexe a 9: analyse de variance du gluten humide
- Annexe a 10 : analyse de variance de l'humidité
- Annexe a11 : analyse de variance de la moucheture
- Annexe a 12 : analyse de variance de mitadinage
- Annexe b 1: analyse da variance d'epiason
- Annexe b 2: analyse de variance d'hauteur
- Annexe b 3 : analyse de variance d'épi/m²
- Annexe b 4: analyse de variance de grain/ épi
- Annexe b 5 : analyse de variance de PMG
- Annexe b 6 : analyse de variance de RDM théorique
- Annexe b7 : analyse de variance de taux de protéine
- Annexe b 8: analyse de variance du gluten sec
- Annexe b 9: analyse de variance du gluten humide
- Annexe b 10: analyse de variance de l'humidité
- Annexe b 11: analyse de variance da la moucheture

Table des matières

	Page
Liste des tableaux	
Listes des figures	
Introduction	1
Chapitre I : Revue bibliographique	
I. Généralités sur le blé	4
1.1 Historique du blé	4
2. Origine du blé	5
2.1. Origine génétique du blé	5
2.2. Origine géographique et diffusion	5
3. Classification de blé	6
3.1. Blé dur (<i>Tritium durum Desf.</i>)	6
3.2. Blé tendre	7
4. Morphologie et structure du grain de blé	8
5. Cycle de développement	9
5.1. Biologie du blé	8
5.2. Cycle physiologique du blé	10
6. Notion de qualité technologique	11
6.1. Qualité nutritionnelle et sanitaire	11
6.2. Amélioration génétique et innovation technologique	12
7. Importance	12
8. Méthodes d'amélioration du blé	13
8.1. Objectifs d'amélioration du blé	15
9. Composantes de rendement	16
1. Nombre d'épis par unité de surface	16

2. Nombre de grains par épi	16
10. Différences clés entre blé dur (<i>Triticum durum</i>) et blé tendre (<i>Triticum aestivum</i>)	18
II. Caractérisation biochimiques de blé :	19
1. Paramètres biochimiques	19
1.1. Protéines	19
1.2. Gluten	20
1.3. Amidon	20
1.4. Humidité	20
2. Importance de la qualité technologique du blé	21
Chapitre II :Matériel et Méthodes	22
1. Localisation du site d'essais	23
2. Matériel utilisé	24
2.1. Matériel végétal	24
3. Dispositif Expérimental	27
4. Analyses statistiques	27
5. Conduite cultural et entretien phytosanitaire de l'essai	28
6. Paramètres mesurés	28
6.1 Paramètres phrénotologiques	28
6.2 Paramètres morphologiques	29
6.3 Les composantes du rendement	29
7. Analyse de la qualité	30
7.1 Matériel et équipements de laboratoire utilisés dans l'étude	31
7.2 Réactifs et solutions	31
8. Méthodes analytiques :	31
8.1. Préparation des échantillons	31
8.2 Dosage des protéines totales et l'humidité	31

8.3. Matériel utilisé	33
8.4. Procédure expérimentale pour la mesure de protéine et d'humidité	33
8.5. Détermination du gluten humide et gluten sec	33
Chapitre 3 : Résultats et discussion	
Les variétés du blé dur :	36
1. Résultats de la partie expérimentale au champ :	36
1.1 ANOVA	36
1.2 La hauteur des variétés	37
1.3 Nombre d'épi par m ²	38
1.4 Le nombre de grains par épi	39
1.5 Le poids de 1000 grains	40
1.6 Rendement théorique des grains	41
2 Résultats de la partie au laboratoire	41
2.1 Anova	41
2.2 Moucheture	42
2.3 Mitadinage	43
2.4 Taux de protéines	44
2.5- gluten sec	45
2.6- Gluten humide	46
2.7 – Humidité	47
Les variétés de blé tendre :	47
1. Résultats de la partie expérimentale au champ	47
1.1 ANOVA	48
1.2 La hauteur des variétés	49
1.3 Nombre d'épi par m ²	49
1.4 Le nombre de grains par épi	50

1.5 Le poids de 1000 grains	50
1.6 Rendement théorique des grains	51
2. Résultats de la qualité technologique :	52
2.1-Anova	52
2.2- Moucheture	53
2 .3- Taux de protéines totales	53
2.4- Gluten sec	54
2 .5- Gluten humide	54
2.6- Humidité	55
Discussion des résultats	56
Chapitre 4 : Conclusion	58
Références bibliographiques	
Annexe	

Introduction

Le blé constitue l'une des cultures les plus stratégiques dans le contexte agricole algérien, en raison de son rôle central dans l'alimentation de base et de sa place prépondérante dans la consommation nationale (*Benbelkacem, 2019*). Les deux espèces principales cultivées dans le pays, le blé dur (*Triticum durum*) et le blé tendre (*Triticum aestivum*), sont au cœur de la transformation agroalimentaire, respectivement pour la semoulerie et la panification (*Icard-Vernière et al., 2010*). Pourtant, la production nationale reste en deçà des besoins de consommation, en dépit d'importants efforts d'amélioration culturelle et génétique (*Mebarkia et al., 2018*). Cette situation met en lumière la nécessité d'intensifier les programmes de recherche visant non seulement à améliorer les rendements, mais aussi à optimiser la qualité technologique des grains, critère fondamental pour leur valorisation industrielle (*Ghanem & Bouzerzour, 2022*).

Dans ce cadre, l'Institut National de la Recherche Agronomique d'Algérie (*INRAA*) a développé plusieurs obtentions variétales récentes de blé dur et de blé tendre, adaptées aux conditions agro-écologiques locales (*Benbelkacem, 2019*). Ces lignées, issues de croisements sélectifs, visent à réunir une performance agronomique fiable et des caractéristiques technologiques compatibles avec les exigences de la filière. Toutefois, avant leur adoption ou inscription au catalogue national, une étape d'évaluation rigoureuse s'impose, permettant de les comparer aux variétés témoins déjà répertoriées, telles que "Bidi 17" pour le blé dur et "Arz" pour le blé tendre (*Mebarkia et al., 2018*).

C'est dans cette perspective que s'inscrit le présent travail, qui consiste à caractériser un ensemble de vingt-cinq génotypes de blé dur et tendre, dont les performances agronomiques, biochimiques et technologiques sont évaluées dans des conditions de culture contrôlées. L'essai a été conduit au niveau de la station expérimentale de l'*INRAA* à El Khroub (*Constantine*), durant la campagne agricole 2023/2024. Quinze génotypes de blé dur et dix de blé tendre, incluant les variétés témoins susmentionnées, ont fait l'objet d'un suivi phénotypique rigoureux sur des critères agronomiques (*comme l'épiaison, la hauteur, le nombre d'épis, le PMG et le rendement*), ainsi que sur des paramètres biochimiques et visuels (*propriétés protéiques, gluten, humidité, moucheture et mitadinage*).

L'objectif principal de cette étude est d'identifier les génotypes les plus prometteurs en termes de productivité et de qualité technologique, capables d'offrir une

Introduction

alternative performante aux variétés existantes. Il s'agit aussi d'évaluer l'ampleur de la variabilité inter génotypique et de déterminer la pertinence des caractères mesurés comme indicateurs de sélection. Ce travail repose sur plusieurs hypothèses : (1) les génotypes testés présentent une variabilité significative pour les caractères agronomiques et biochimiques étudiés ; (2) certaines obtentions récentes dépassent les variétés témoins en rendement et qualité ; (3) la caractérisation combinée de ces traits constitue un outil d'aide efficace pour la sélection.

La démarche méthodologique adoptée s'est articulée autour de la conduite d'essais en plein champ, de la réalisation d'analyses biochimiques en laboratoire selon des protocoles normalisés, et de l'interprétation statistique des données via une ANOVA à un facteur. Le présent mémoire est organisé en quatre parties principales : une introduction générale présentant le contexte scientifique et la problématique ; une revue bibliographique sur la culture du blé, ses exigences et ses critères de qualité ; une partie matériel et méthodes décrivant le dispositif expérimental ; une section résultats et discussion ; et enfin une conclusion générale accompagnée de recommandation.

Chapitre 1 :

Revue bibliographique

Le blé, appartenant au genre *Triticum* et à la famille des Graminées, constitue l'une des principales cultures céréaliers à travers le monde. Cultivé depuis plus de dix millénaires, il joue un rôle essentiel dans la sécurité alimentaire mondiale et l'économie agricole de nombreux pays, notamment en zones tempérées et semi-arides. Grâce à sa richesse nutritionnelle, sa diversité génétique et sa large adaptabilité aux conditions pédoclimatiques, le blé a fait l'objet de nombreuses recherches portant sur son origine, sa classification, sa morphologie, ainsi que sur les méthodes d'amélioration visant à accroître ses rendements et sa qualité technologique.

I. Généralités sur le blé

Le blé est une monocotylédone qui appartient au genre de *Triticum* de la famille des Graminées. C'est une céréale dont le grain est un fruit sec et indéhixent, appelé caryopse constitué d'une graine et des téguments (*Feille, 2000*). Les deux espèces qui dominent aujourd'hui la production sont : le blé tendre et le blé dur.

1. Historique du blé

Au Moyen Âge, les agriculteurs des régions céréaliers européennes utilisaient la charrue à roue et des chevaux pour la culture du blé, tandis que les zones de seigle dépendaient encore de l'araire et des bœufs. Le semoir mécanique et la moissonneuse-batteuse, développés dans les régions productrices de blé en Europe et en Amérique du Nord, marquèrent une évolution technologique majeure. Le blé fut également la première céréale à bénéficier d'amendements organiques (notamment dans l'Est de la France) et d'engrais chimiques, tandis que la sélection variétale améliora les rendements. Pendant des millénaires, sa culture resta limitée en volume et en productivité : au Moyen Âge et jusqu'au XVIII^e siècle, produire un kilogramme de blé nécessitait plus de trois heures de travail. Les céréales, alors base quasi exclusive de l'alimentation, étaient inaccessibles aux plus pauvres, qui se tournaient vers le « méteil » (*mélange de blé et de seigle*), moins coûteux en main-d'œuvre (*deux heures par kilogramme*). Les mauvaises récoltes provoquaient des famines, comme celles de la fin du XVII^e siècle en France, où le prix du blé atteignit l'équivalent de six à huit heures de salaire par kilogramme. Ce prix déclina progressivement aux XVIII^e et XIX^e siècles, avant que les progrès technologiques du XX^e siècle ne dopent la production céréalière. Le blé fut introduit dans le Nouveau Monde en 1523 par Juan Garrido, compagnon de Cortés, qui sema trois graines trouvées dans un sac de riz à Coyoacán (Mexique) (*Bozzini, 1988 ; Asseng et al., 2015 ; Benbelkacem, 2019*).

2. Origine du blé

2.1. Origine génétique du blé

Le blé moderne (*Triticum spp.*) résulte d'une série d'événements génétiques complexes, incluant des hybridations interspécifiques et des polyploidisations successives. La domestication initiale, il y a environ 10 000 ans au Proche-Orient, a ciblé des espèces diploïdes sauvages comme *Triticum boeoticum* (**génome AA**) et des tétraploïdes comme *Triticum dicoccoides* (**génome AABB**), sélectionnées pour des traits adaptatifs tels que la non-déhiscence des épis (*gène Q*) et la taille accrue des grains. L'émergence du blé hexaploïde (*Triticum aestivum*, *AABBDD*) découle d'une hybridation entre *Triticum turgidum* et *Aegilops tauschii* (**génome DD**), introduisant une résistance accrue aux pathogènes et une adaptabilité climatique. Les études de génomique comparative ont identifié des loci clés, comme *Br* (**bristle**) et *Sh* (**shape**), associés à la morphologie de l'épi et à la qualité nutritionnelle (**Pont & Avni, 2021** ; **Khelifi et al., 2018**).

2.2. Origine géographique et diffusion

Le foyer primaire de domestication du blé se situe dans le Croissant Fertile, englobant le sud-est de la Turquie, le nord de la Syrie et l'Irak actuel, où les conditions écoclimatiques favorisaient la diversité des graminées sauvages. Les données archéobotaniques, notamment les restes carbonisés de *Triticum monococcum* retrouvés à Abu Hureyra (Syrie), attestent d'une culture organisée dès 9 500 av. J.-C. (**Fuller et al., 2014**). La diffusion vers le bassin méditerranéen et l'Afrique du Nord s'est appuyée sur des réseaux d'échanges néolithiques, comme en témoignent les vestiges de grains de blé dur découverts dans les sites préhistoriques algériens de Tassili n'Ajjer, associés à des outils de mouture (**Benabdelmoumene, 2015**). L'introduction du blé en Algérie a conduit à l'adaptation de variétés locales via des croisements avec des espèces sauvages méditerranéennes, comme *Aegilops geniculata*, enrichissant la diversité génétique (**Ould-Saïd et al., 2021**). Les analyses de flux génique révèlent une introgression significative depuis les populations sauvages vers les cultivars, facilitant la résilience aux stress biotiques (**Zohary et al., 2012** ; **Khelifi, 2018**).



Figure 01 : d'origine et diffusion de *Triticum monococcum* à travers le monde.

(Vilmorin, 1880 dans Bozzini, 1988).

3. Classification de blé

Le blé appartient à la famille des graminées (Gramineae = Poaceae), qui comprend plus de 10000 espèces différentes (Mac Key, 2005.).

3.1.Blé dur (*Triticum durum* Desf.)

Le blé dur est une plante herbacée appartenant au groupe des céréales à paille. C'est une monocotylédone classée de la manière suivante:(Prats, 1960 ; Crête, 1965 ; Feillet, 2000 et Huang et al., 2002).

Embranchement	Angiospermes
Sous embranchement	Spermaphytes
Classe	Monocotylédones
Ordre	Glumiflorales
Super-ordre	Commeliniflorales
Famille	Gramineae
Tribu	Triticeae
Sous tribu	Triticinae
Genre	Triticum
Espèce	<i>Triticum durum</i> Desf
Classification APG III 2009	
Ordre	Poales
Famille	Poaceae

Selon:(Prats, 1960 ; Crête, 1965 ; Feillet, 2000 et Huang et al., 2002).

3.2.Blé tendre

Embranchement	Angiospermes
Sous embranchement	Spermaphytes
Classe	Monocotylédones
Ordre	Glumiflorales
Super-ordre	Commeliniflorales
Famille	Gramineae
Tribu	Triticeae
Sous tribu	Triticinae
Genre	Triticum
Espèce	<i>Triticum aestivum L.</i>
Classification APG III 2009	
Ordre	Poales
Famille	Poaceae

Selon (*Prats, 1960; Crête, 1965; Feillet, 2000*)

4. Morphologie et structure du grain de blé

Un grain de blé est formé de trois régions :

- Albumen : constitué de l'albumen amylocé (au sein duquel subsistent des cellules remplies de granules d'amidon dispersés au milieu d'une matrice protéique et dont les parois cellulaires sont peu visibles) et de la couche à aleurone (80- 85% du grain).
- Enveloppes de la graine et du fruit : formées de six tissus différents : épiderme du nucelle, tégument séminal ou testa (enveloppe de la graine), cellules tubulaires, cellules croisées, mésocarpe et épicarpe (13-17%).
- Germe (3%) : composé d'un embryon (lui-même formé du coléoptile, de la gemmule, de la radicule, du coléorhize et de la coiffe) et du scutellum (**Leslie Jacquemin, 2012**).

Comparativement à d'autres céréales, du maïs et du riz en particulier, le grain de blé possède un sillon résultant d'une invagination des téguments vers l'intérieur du grain, sur toute sa longueur et du côté du germe ; les faisceaux nourriciers de la graine au cours de son développement sont localisés au fond de ce sillon. Sa présence détermine la manière dont s'opère la séparation de l'albumen et des enveloppes pour extraire les farines ; il rend en effet impossible, comme en rizerie, l'élimination progressive des téguments par abrasion des parties périphériques.

L'extraction des farines nécessite de fragmenter les grains, puis d'isoler progressivement l'albumen à partir des zones les plus internes du grain, du centre vers la périphérie ; pour cette raison, les premières farines sont les plus purifiées.

La longueur du grain (plus grande dimension) est comprise entre 5 et 8 mm, sa largeur entre 2 et 4 mm, son épaisseur entre 2,5 et 3,5 mm, sa section longitudinale entre 10 et 16 mm², sa section transversale entre 4 et 7,5 mm², son poids entre 20 et 50 mg et sa densité entre 1,3 et 1,4. (*Feillet, 2000*).

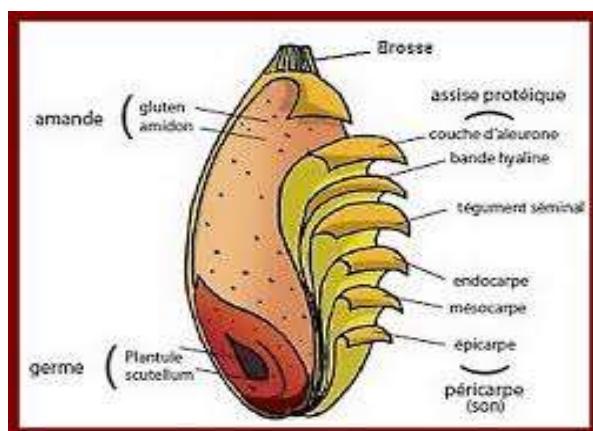


Figure 02 : Structure anatomique du grain de blé (*Feillet, 2000*).

5. Cycle de développement

5.1. Biologie du blé

Le blé (*Triticum aestivum* et *Triticum durum*) est une plante annuelle à cycle de développement monocarpique, structuré en phases successives régulées par des facteurs génétiques et environnementaux. Son cycle biologique débute par la germination, où l'embryon active des gènes de mobilisation des réserves (α -amylases) sous l'influence de l'acide abscissique (ABA) et des gibberellines (GA). La plantule émerge via l'elongation du mésocotyle, suivie du tallage, processus dépendant des méristèmes axillaires et de la signalisation auxines. La phase juvénile, contrôlée par les

gènes *VRN* (*vernalisation*) et *PPD* (photopériode), détermine la transition vers la maturation. La sénescence finale, marquée par la dégradation chlorophyllienne et la remobilisation des nutriments vers le grain, clôt le cycle (*Distelfeld et al., 2018 ; Benbelkacem, 2019*).

5.2. Cycle physiologique du blé

5.2.1. Période végétative

La phase végétative englobe la germination, le tallage et l'établissement des organes photosynthétiques. Après la levée, le tallage est initié par l'activation des bourgeons axillaires sous l'effet de faibles températures et d'une photopériode courte. Le développement foliaire suit un modèle phyllochronique, avec une émission de feuilles tous les 100°C-jours. L'apex caulinaire reste indifférencié jusqu'à l'acquisition de la compétence florale,

régulée par l'accumulation de *FT* (*Flowering Locus T*) dans les feuilles. La vernalisation, via la méthylation de l'ADN au locus *VRN1*, supprime les inhibiteurs floraux (gène *FLC*) et synchronise le cycle avec les saisons (*Mir et al., 2020 ; Pont & Avni, 2021*).

5.2.2. Période reproductive

La transition reproductive débute par l'élongation des entre-nœuds (*montaison*) et la différenciation de l'apex en épis. L'initiation florale est déclenchée par la voie *SOC1* (*Suppressor of Overexpression of Constans 1*), activée par la photopériode longue et les gibbérellines. L'anthèse, marquée par la libération des gamètes mâles (anthères) et la réceptivité des stigmates, est suivie de la double fécondation caractéristique des Poacées.

Le remplissage du grain, dépendant des transporteurs de sucre (*SWEET11*) et de l'activité ADP-glucose pyrophosphorylase, atteint son pic 20–30 jours après floraison.

La maturation implique la déshydratation programmée et l'accumulation des protéines de stockage (*glutenine*), influencé par des variations diurne de température (*Asseng et al, 2015, Mir et al 2020*)

En contexte méditerranéen, les stress hydriques post-floraux réduisent la taille des grains chez *Triticum durum*, mais les cultivars algériens expriment des aquaporines

spécifiques (*PIP 2,1*) pour atténuer ses effets (*Ould said et al , 2021 ; pont & Avni ,2021*).

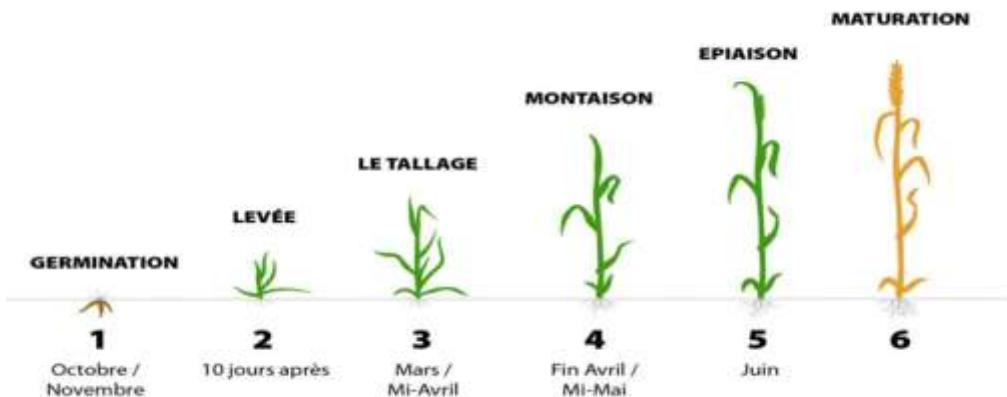


Figure 03 : Cycle de développement du blé : Germination, tallage, montaison, épiaison et maturation (octobre à juin)"(*Mir et al. ; 2020*).

6. Notion de qualité technologique

La qualité technologique du blé est principalement déterminée par la composition et la structure des protéines de réserve, notamment les gluténines et les gliadines, qui confèrent à la pâte ses propriétés viscoélastiques. Les sous-unités de gluténines de haut poids moléculaire (*HMW-GS*), codées par les loci *Glu-A1*, *Glu-B1* et *Glu-D1*, influencent directement la force du gluten et l'aptitude boulangère. L'indice de chute Hagberg, mesurant l'activité α -amylase, et le poids spécifique (hectolitre) sont des paramètres clés pour évaluer la qualité meunière. Des études génomiques ont identifié des marqueurs SNP associés à la stabilité du réseau gluténique, comme *TaGW2* et *TaSus2*, ciblés en sélection assistée (*Shewry et al., 2019*).

6.1.Qualité nutritionnelle et sanitaire

La qualité nutritionnelle du blé englobe sa teneur en micronutriments (*fer, zinc*), en fibres (*arabinoxylanes*) et en composés bioactifs (*polyphénols, alkylrésorcinols*). La biofortification via les gènes *NAS2* (*nicotianamine synthase*) et *VIT2* (transporteur de fer vacuolaire) améliore la biodisponibilité minérale dans les grains. Cependant, la présence de mycotoxines (*ex. déoxynivalénol produit par Fusarium graminearum*) et de résidus de pesticides pose des enjeux sanitaires critiques. Les normes Codex Alimentarius (*CAC/GL 81-2013*) fixent des limites maximales pour ces contaminants, tandis que les techniques de spectrométrie de masse (*LC-MS/MS*) permettent leur détection à l'échelle trace (*Bouis et al., 2016*). Les blés anciens algériens, comme les

écotypes de l'Atlas, montrent des profils antioxydants supérieurs (*ORAC > 50 µmol TE/g*) comparés aux cultivars modernes (**Bouzid et al., 2023**).

6.2. Amélioration génétique et innovation technologique

Les programmes d'amélioration visent à concilier qualité et rendement via l'introgression de gènes d'intérêt, comme *Gpc-B1* (*augmentation de la teneur en protéines*) ou *Pinb-D1b* (*résistance à la fissuration des grains*). L'édition génomique (*CRISPR-Cas9*) permet de modifier précisément les loci contrôlant la composition en amylose/amylopectine (*SBEIIa*) pour adapter la qualité aux besoins industriels. Parallèlement, les procédés de fractionnement par voie sèche (*technologie NIR*) optimisent l'extraction des composés à valeur ajoutée (*son enrichi en fibres*) (**Sánchez-León et al., 2018**).

7. Importance

Le blé (*Triticum spp.*) représente une des cultures céréalières les plus importantes à l'échelle mondiale, tant pour sa valeur nutritionnelle que pour son rôle dans la sécurité alimentaire. Il constitue une source majeure de glucides complexes, particulièrement l'amidon, fournissant plus de 20 % de l'apport calorique journalier mondial. De plus, sa teneur en protéines végétales, notamment les prolamines (*gliadine*) et gluténines, confère au gluten ses propriétés viscoélastiques essentielles à la panification. Sa richesse en fibres alimentaires, vitamines du groupe B et minéraux renforce sa valeur nutritionnelle dans les régimes humains (**Benmoussa et al., 2014** ; **Shewry & Hey, 2015**).

Sur le plan agronomique, le blé se distingue par sa grande adaptabilité aux conditions pédoclimatiques diverses, ce qui en fait une culture stratégique dans les systèmes agricoles tempérés et semi-arides. En Algérie, il est cultivé dans les zones des hautes plaines, du Tell et même dans certaines régions sahariennes sous pivot, soulignant sa flexibilité physiologique. Cette résistance s'explique par la diversité génétique de ses génotypes, permettant l'amélioration variétale pour la tolérance au stress hydrique, salin ou thermique (**Zhang et al., 2021**).

Économiquement, le blé occupe une place centrale dans le commerce mondial et dans les politiques agricoles nationales. En Algérie, il représente l'une des principales denrées alimentaires importées, ce qui crée une dépendance structurelle et une pression sur la balance commerciale. Pourtant, la production locale pourrait être augmentée par l'intensification durable, l'introduction de semences certifiées et l'amélioration des

itinéraires techniques. Le renforcement de la filière céréalière contribuerait à l'indépendance alimentaire du pays (**FAO, 2022**).

D'un point de vue stratégique, le blé est un levier crucial pour la souveraineté alimentaire. Les crises géopolitiques, les conflits et les perturbations logistiques liées au changement climatique mettent en évidence la nécessité de sécuriser la production locale. En investissant dans la recherche agronomique et en modernisant les infrastructures de stockage et de transformation, des pays comme l'Algérie peuvent renforcer leur résilience face aux aléas extérieurs et garantir un approvisionnement stable pour leur population (**El Mekki et al., 2023**).

8. Méthodes d'amélioration du blé

L'amélioration génétique du blé repose sur des approches complémentaires combinant les techniques conventionnelles et les biotechnologies modernes.

Parmi les méthodes classiques, l'hybridation interspécifique est largement utilisée pour exploiter la diversité génétique existante entre le blé cultivé (*Triticum aestivum*) et ses apparentés sauvages, tels que *Aegilops tauschii*. Cette technique permet l'introgression de gènes d'intérêt comme Sr35, conférant une résistance à la rouille noire, ou DREB1A, impliqué dans la tolérance à la sécheresse. (**Bassi et al., 2019**).

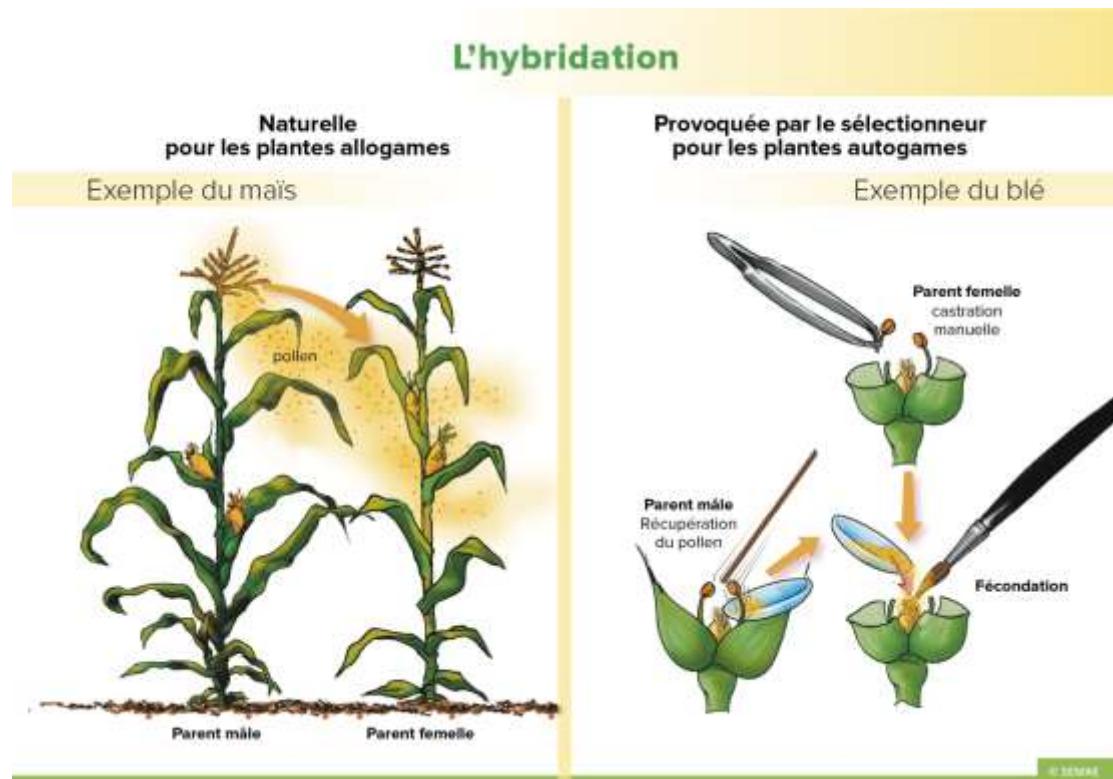


Figure 04 : technique d'hybridation (*Bassi et al., 2019*).

De plus, la sélection récurrente, reposant sur la recombinaison et la sélection itérative de génotypes supérieurs, permet d'améliorer simultanément plusieurs caractères quantitatifs tels que le rendement et la stabilité face aux stress environnementaux (*Bassi et al., 2019*).

Avec l'avènement des biotechnologies, les méthodes moléculaires se sont imposées comme des outils puissants dans l'amélioration du blé. La sélection assistée par marqueurs (SAM) permet de suivre l'héritabilité de loci spécifiques à l'aide de marqueurs moléculaires (SSR, SNP), facilitant la sélection précoce des génotypes porteurs de caractères d'intérêt, comme le gène Gpc-B1, associé à une teneur accrue en protéines. Cette approche réduit significativement le nombre de cycles de sélection nécessaires au développement variétal.

En parallèle, l'édition génomique, notamment via le système CRISPR/Cas9, permet des modifications précises et ciblées du génome. Des gènes tels que TaGW2, impliqué dans la régulation de la taille des grains, ou Rht-B1b, jouant un rôle dans l'architecture de la plante, ont été modifiés pour optimiser les performances agronomiques (*Bassi et al., 2019*).

8.1.Objectifs d'amélioration du blé

L'un des objectifs majeurs de l'amélioration génétique du blé est l'augmentation du rendement grainier, en tenant compte des contraintes agroclimatiques croissantes, notamment en régions arides et semi-arides. L'optimisation du rendement repose sur la sélection de génotypes possédant un meilleur potentiel photosynthétique, une architecture foliaire efficace et une allocation optimale des assimilats vers les grains. Cette stratégie s'accompagne souvent d'une sélection pour la précocité, la hauteur de tige modérée, et le nombre d'épis par m². Ces caractères sont généralement quantitatifs et fortement influencés par l'environnement, d'où l'intérêt croissant pour l'utilisation de la sélection génomique (**Bassi et al., 2019**).

Un autre objectif essentiel concerne l'amélioration de la tolérance aux stress abiotiques, notamment la sécheresse, la salinité et les températures extrêmes, qui constituent des facteurs limitants majeurs dans les zones méditerranéennes. L'identification et l'introgression de gènes tels que *DREB1A* (*Dry-responsive element-binding protein*) ou *HKT1;5* (*High-affinity potassium transporter*) permettent une meilleure gestion de l'eau et des ions dans la plante. Des travaux en Algérie ont montré que certaines variétés locales présentaient des allèles favorables à ces stress, ce qui encourage leur utilisation dans des programmes de croisement ciblés (**Bassi et al., 2019**).

Parallèlement, l'amélioration de la résistance aux maladies fongiques telles que la rouille jaune (*Puccinia striiformis*), la rouille brune (*P. triticina*) ou la fusariose de l'épi est également un objectif prioritaire. L'introgression de gènes de résistance spécifiques (*Yr*, *Sr*, *Lr*) ou de gènes de résistance quantitative (*QTLs*) permet d'assurer la durabilité des cultures en limitant l'usage de fongicides. L'intégration de la sélection assistée par marqueurs a permis d'accélérer le processus d'introduction de ces gènes dans les variétés élites (**Juliana et al., 2019**).

L'amélioration de la qualité technologique et nutritionnelle du grain constitue un axe stratégique important, notamment pour le blé dur utilisé dans la fabrication des pâtes et semoules. Les sélectionneurs cherchent à éléver la teneur en protéines (*gèneGpc-B1*), la qualité du gluten (*gènesGlu-1*, *Glu-3*) et la concentration en micronutriments comme le zinc et le fer via la biofortification. Cela répond à une double exigence : satisfaire l'industrie agroalimentaire et lutter contre les carences nutritionnelles dans les régions vulnérables (**Juliana et al., 2019**).

9. Composantes de rendement

Le rendement grainier du blé tendre (*Triticum aestivum*) est un phénotype complexe résultant de l'interaction synergique ou antagoniste de quatre composants physiologiques clés. Ces composants, régulés par des facteurs génétiques, environnementaux et agronomiques, déterminent la productivité finale de la culture.

1. Nombre d'épis par unité de surface

Ce composant est influencé par la densité de peuplement (*nombre de plantes/m²*) et le tallage (*formation de tiges secondaires*). Le tallage est contrôlé par des gènes tels que *Tin* (*Tiller Inhibition*), qui module l'activité des méristèmes axillaires, et dépend de signaux hormonaux (*auxines et strigolactones*). Une disponibilité précoce en azote (*N*) stimule le tallage, mais un excès peut entraîner une compétition pour la lumière, réduisant l'efficacité photosynthétique. Une densité optimale (250–350 *plantes/m²*) et un tallage modéré (3–5 *talles/plante*) maximisent la biomasse reproductive sans épuisement des ressources. Les variétés modernes, comme *Apache* ou *Renan*, intègrent des allèles *Tin* répressifs pour équilibrer tallage et stabilité architecturale (*Slafer et al., 2015*).

2. Nombre de grains par épis

Déterminé lors de la différenciation florale (*stade de double ride*), ce composant dépend de la différenciation des épillets fertiles et de la survie des gamétophytes. La photosynthèse pré-anthesis fournit les assimilats nécessaires à la formation des fleurons, tandis que les cytokinines (ex. *IPT* Isopentenyltransferase) régulent la fertilité des épillets. Un stress hydrique durant le stade de booting (gonflement de la gaine) induit un avortement ovulaire via la dérégulation des aquaporines (*PIP2;1*) et une baisse de l'ATP synthase mitochondriale. Les variétés tolérantes, comme *Sakha 93*, maintiennent un nombre de grains élevé sous stress grâce à une expression accrue de *NAC* (facteurs de transcription) (*Foulkes et al., 2020*).

3. Poids de mille grains (PMG)

Le PMG reflète l'efficacité de la phase de remplissage, dépendante de la durée de la période post-floraison et de la capacité de translocation des assimilats. Les transporteurs de sucre (*SWEET11* et *SUT1*) et les enzymes de synthèse d'amidon (*AGPase*, *SSIII*) sont essentiels pour alimenter l'endosperme. Des températures > 30°C accélèrent la sénescence foliaire, réduisant la durée de remplissage et activant les

protéases (*TaVPE*) qui dégradent les réserves. Les cultivars comme *Chamran* (Iran) ou *Waha* (Algérie) combinent une activité *AGPase* thermostable et une remobilisation efficace des réserves tiges-épis pour maintenir un PMG élevé (45–50 g) en conditions semi-arides (*Reynolds et al., 2019*).

4. Indice de récolte (IR)

L'IR, défini comme le rapport biomasse grainière / biomasse totale, mesure l'efficacité de conversion des ressources en grains. Les cultivars modernes (IR = 0,45–0,55) surpassent les variétés anciennes (IR = 0,30–0,40) grâce à des gènes de nanisme (*Rht-B1b* ou *Rht-D1b*), qui réduisent la compétition entre organes « puits » (grains) et « sources » (feuilles). Ces gènes inhibent la voie de signalisation des gibbérellines, limitant l'elongation des entre-nœuds tout en favorisant la redistribution des assimilats vers les grains. Cependant, un IR trop élevé peut compromettre la résilience face aux stress biotiques, nécessitant un équilibre entre productivité et robustesse (*Shearman et al., 2021*).

Les composants de rendement présentent une compensation négative : l'augmentation d'un paramètre (ex. nombre d'épis) peut réduire un autre (ex. PMG). Par exemple, sous stress hydrique, une densité élevée diminue la taille des grains. Les programmes de sélection ciblent des QTL (Quantitative Trait Loci) comme *QYld.icg-4B* ou *QTgw.caas-5A* pour stabiliser ces interactions. En Algérie, les variétés de blé dur (*Triticum durum*) *Hiddab* et *Boussellam* illustrent cette approche, combinant un tallage modéré (2–3 talles/plante) et un PMG élevé sous contraintes thermiques (*Khelifi et al., 2020* ; *Ould-Saïd et al., 2022*).

10. Différences clés entre blé dur (*Triticum durum*) et blé tendre (*Triticum aestivum*)

Le blé dur et le blé tendre se distinguent par des caractéristiques morphologiques, biochimiques et des usages industriels spécifiques. Ces différences résultent de leurs adaptations évolutives distinctes et des critères de sélection humaine.

Le tableau ci-dessous synthétise ces divergences, appuyées par des références scientifiques récentes (post-2010) et des travaux algériens.

Tableau 1 : Comparaison détaillée entre blé dur et blé tendre

Caractéristique	Blé dur (<i>Triticum durum</i>)	Blé tendre (<i>Triticum aestivum</i>)	Références
Morphologie			
Grains	Vitreux, anguleux, albumen dur (texture corné), couleur ambrée à jaune (forte teneur en lutéine).	Tendance farineuse, grains arrondis, couleur rougeâtre ou blanche (faible teneur en pigments).	Benbelkacem, 2021 ; Sissons, 2016
Épis	Compacts, longues arêtes (10–15 cm), épillets serrés.	Lâches, arêtes courtes ou absentes, épillets espacés.	Khelifi et al., 2020 ; Shewry, 2019
Plante	Tiges robustes, adaptées aux climats semi-arides.	Tiges fines, tolérantes aux climats tempérés.	Ould-Saïd et al., 2022 ; FAO, 2020
Composition biochimique			
Gluten	Riche en gluténines HMW (force gluténique élevée, indice de glutopeak > 80).	Ratio équilibré gliadines/gluténines (extensibilité et élasticité optimales).	Shewry, 2019 ; Benbelkacem, 2021
Caroténoïdes	Teneur élevée en lutéine (5–8 ppm), couleur jaune intense.	Faible teneur en pigments (0,5–1 ppm), farine blanche.	Sissons, 2016 ; Khelifi et al., 2020
Amidon	Granules d'amidon gros, amylose 20–25 % (texture ferme après cuisson).	Amylose 25–30 %, rétention d'eau élevée (idéal pour produits levés).	Shewry, 2019 ; FAO, 2020
Utilisations industrielles			
Produits phares	Semoule (pâtes, couscous), pains de semoule, soupes industrielles.	Farine panifiable (pain, viennoiseries, biscuits), gluten isolé, bière.	FAO, 2020 ; Ould-Saïd et al., 2022
Zones de culture	Bassin méditerranéen (Algérie, Italie), Canada (Saskatchewan).	Zones tempérées (Europe, Amérique du Nord), plaines irriguées.	Khelifi et al., 2020 ; Benbelkacem, 2021
Part de marché mondial	5–7 % de la production mondiale.	90–95 % de la production mondiale.	FAO, 2020

II. Caractérisation biochimiques de blé :

1. Paramètres biochimiques

1.1. Protéines

Les protéines du blé, composantes clés de sa qualité technologique, se répartissent en quatre fractions : albumines (solubles dans l'eau), globulines (solubles en solution saline), gliadines (solubles dans l'éthanol) et gluténines (solubles en milieu acide ou alcalin). Les gluténines, formant des polymères via des ponts disulfures, sont structurées en sous-unités de haut (*HMW-GS, Glu-1*) et bas poids moléculaire (*LMW-GS, Glu-3*). Ces dernières influencent la stabilité du réseau gluténique, tandis que les *HMW-GS* (ex. *Glu-D1d*) améliorent la force boulangère. Les variétés de blé dur (*Triticum durum*) possèdent une teneur en protéines plus élevée (12–15 %) que le blé tendre (10–13 %), avec une prédominance de gluténines (80 %) adaptées à la fabrication de pâtes alimentaires (Sissons, 2022).

1.2. Gluten

Le gluten, matrice protéique élastique, résulte de l'assemblage des gliadines et gluténines lors du pétrissage. Sa rhéologie dépend de la présence de motifs répétés riches en glutamine et proline, comme le peptide 33-mer (α -gliadine), impliqué dans la maladie cœliaque. Les cultivars modernes, sélectionnés pour un indice *W* (force) élevé ($> 250 \times 10^{-4}$ J), optimisent la rétention gazeuse dans les pâtes levées. Cependant, des variétés à faible teneur en *ATIs* (Amylase Trypsin Inhibitors) sont développées pour réduire les réactions inflammatoires intestinales (Sissons, 2022).

1.3. Amidon

L'amidon, polysaccharide de réserve, est constitué de deux polymères : l'amylose (20–30 %, chaînes linéaires) et l'amylopectine (70–80 %, structure ramifiée). Le ratio amylose/amylopectine détermine la texture des produits : un taux élevé d'amylopectine favorise la rétention d'eau (pain moelleux), tandis qu'un taux élevé d'amylose améliore la fermeté des pâtes. La synthèse de l'amidon est régulée par des enzymes clés comme la *GBSS* (Granule-Bound Starch Synthase) pour l'amylose, et la *SSIIa* (Starch Synthase IIa) pour l'amylopectine. Des températures > 35 °C durant le remplissage inhibent la *SSIII*, réduisant la taille des granules et la qualité technologique (Sissons, 2022).

1.4.Humidité

L'humidité des grains (12–14 % à la récolte) influence directement la conservation et les risques de contamination fongique. Une activité water (a_{w}) $> 0,7$ active les α -amylases endogènes, dégradant l'amidon en sucres réducteurs (indice de chute Hagberg < 250 s). Les méthodes de séchage innovantes, comme la déshumidification par adsorption ou l'utilisation de capteurs IoT, optimisent le stockage en zones humides. En Algérie, les pertes post-récolte dues à une humidité excessive atteignent 25 % dans les régions côtières, motivant l'adoption de silos ventilés équipés de systèmes NIRS (*Near-Infrared Spectroscopy*) pour un contrôle en temps réel (*Bouzid, 2023*).

2. Importance de la qualité technologique du blé

La qualité technologique du blé est un déterminant essentiel de sa valeur marchande et de son adéquation aux procédés industriels. Elle englobe des paramètres tels que la dureté du grain, la teneur en protéines (12–16 %) et la composition en gluten, qui influencent directement l'efficacité de la mouture et les propriétés rhéologiques des pâtes. Par exemple, les blés durs (*Triticum durum*), riches en gluténines de haut poids moléculaire (*HMW-GS*), produisent une semoule vitreuse idéale pour les pâtes alimentaires, tandis que les blés tendres, avec un ratio équilibré gliadines/gluténines, optimisent la levée du pain. La présence de caroténoïdes (5–8 ppm) améliore également l'attrait visuel des produits, tandis qu'un indice de chute Hagberg > 250 s garantit une faible activité α -amylase, évitant les textures collantes. Les stress abiotiques (canicule, sécheresse) altèrent ces propriétés en perturbant la synthèse de l'amidon (*AGPase*) et en induisant l'avortement ovulaire, réduisant le poids de mille grains (PMG) de 10–15 %.

À l'échelle mondiale, la qualité technologique détermine l'accès aux marchés premium : les blés panifiables français (*Gruau*) se vendent à des primes de 20–30 % grâce à leur indice W ($> 300 \times 10^{-4}$ J), tandis que les défauts (mycotoxines, humidité > 14 %) entraînent des déclassements coûteux. Ainsi, l'amélioration génétique ciblant des marqueurs comme *Gpc-B1* (teneur en protéines) et les innovations post-récolte (séchoirs solaires, capteurs NIRS) sont cruciales pour concilier rendement et qualité (*Asseng et al., 2020*).

Chapitre II :

Matériel et Méthodes

1. Localisation du site d'essais :

Le site d'étude choisis pour cet essai se situe dans les hautes plaines intérieures de l'Est (Constantine) et plus précisément au niveau de la ferme pilote Baaraouia EL-Khroub (2024/2025) à une quinzaine de kilomètre au sud-est de Constantine.

(Figure N° 4) ayant les coordonnées suivantes :

- Altitude moyenne de 640 m.
- Latitude Est: 6°6870
- Longitude Nord: 36°2765



Figure 5 : Image satellite de la parcelle de l'essai à El Baraouia-El Khroub

Ce site est représentatif des hautes plaines intérieures constantinoises, à sol globalement Argilo-limoneux assez profond. Il se caractérise par des terres vallonnées, assez fertiles avec quelques risques de gel tardif et de sécheresse en fin de cycle. La parcelle d'étude (figure 04) représentée par un terrain plat, homogène, le sol est profond (plus de 2m de profondeur).

D'après les résultats de l'analyse physico-chimique d'un échantillon du sol, prélevé sur une profondeur de 40 cm (Annexe N°05) ; il s'agit d'un sol lourd qui nécessite beaucoup de travaux culturales (labour profond, recroisage, hersage,...etc) avant le semis.

2. Matériel utilisé

2.1. Matériel végétal

L'étude a porté sur 15 variétés de blé dur (*T. durum*) et 10 de blé tendre (*T. aestivum*). Les grains ont été soigneusement triés à la main afin d'éliminer les impuretés, puis broyés à l'aide d'un moulin pour obtenir une farine homogène.

Voici le tableau des variétés utilisées

Blé dur :

Tableau 2. Liste des variétés de blé dur étudiées.

Nom de la variété	Pédigré	origine
Bidi 17 (T)	Population locale	Algérie
Megress	Simeto/3/Sora/2*Plata_12//SRN_3/Nigris_4/5/Toska_26/	ICARDA:Sétif
Svevo	Ossl1/StjS5/5/Bicrederra1/4/BEZAIZ.SHF//SD19539/Waha/3/Stj/Mrb 3/6/Mgnl3	Italie
Svevo HA	Ossl1/Stj5/5/Bicrederra1/4/BezaizSHF//SD19539/Waha/3/Sti/Mrb3/6/ cajihan12	Italie
Beni mestina	Lahn/Cham1 2003	ICARDA/Khrob
Boussellam	Heider/Marte//Huevo de oro	ICARDA/Sétif
Faridur	Shwa"S"/Bit"S"	Italie
Minimus	Ter-1/3/Stj3//Bcr/Lks	CIMMYT Mexique
Bellara	Bellaroi/4/Bcris/Bicum//llaretaInia/3/Dukem_12/...	CIMMYT Khroub
Numidia	Ter1//Mrf1/Stj2/3/lcasyr1 ICD07-349-BUMSD-0AP-0Tr-4AP-0Tr- 4AP-0THT-0AP	CIMMYT/Khro ub
Moulet eddar	Silk_3/Dipper_6//Aco89*6/Dukem_4/3/Plata_7/Illbor_1//Somat_3/5/LI areta CDSS07Y00046S-099Y	CIMMYT Khroub
Targui	Ammar6	CIMMYT Mexique
Oued el bared	Simeto/3/Sora/2*Plata_12//SRN_3/Nigris_4/5/Toska_26/	ICARDA:Sétif
El tayeb	ACSAD/MBB	Sétif
Ain hazem	Hedba3/M1084	CIMMYT Mexique

Blé tendre :**Tableau 3 : Liste des variétés de blé tendre étudiées.**

Nom de la variété	pédigré	origine
ARZ (T)	MAYO 54/LR64//TAC S"/3/LR64// TZPP /Y54	CIMMYT/Khroub
Hachimia	Kachu#1//Wbll*2/Kukuna	CIMMYT/Khroub
Ezzina	Nac/TH.Ac//3*Pvn/3/Mirlo/Buc/4/2*Pastor/5/Kachu/6/Kachu	ACSAD/Sétif
Medracen	ITP40/AKURI CMSS07Y00441S-0B-099Y-099M-099NJ-099NJ-4WGY-0B	CIMMYT/Khroub
Yacine	OASIS/SKAUZ//4*BCN*2/3/PASTOR	CIMMYT/Khroub
Nif encer	KAUZ*2/MNV//KAUZ/3/MILAN/4/BAV92/5/CHYAKCMSS07B00100S-099M-099Y-099M-3WGY-0B	CIMMYT/Khroub
Ain el bey	Mahon Demias/Boumerzoug	khroub
Akhamoukh	Irena/Babax/Pastor CMSS96M05638T-040Y-010S-010M-010S-4M-0Y	CIMMYT/Khroub
Ain abid	AS81189A	Espagne/Khroub
Yamama	Nac/TH.Ac//3*Pvn/3/Mirlo/Buc/4/2*Pastor/5/Kachu/6/Kachu	CIMMYT/Khroub

2.2 Conditions climatiques :**1/La pluviométrie :**

La zone d'EL-Khroub est caractérisée par un climat continental semi-aride à hiver froid, et été chaud et sec ; les premières pluies apparaissent généralement au mois de

septembre et la période pluvieuse s'étend jusqu'à la fin mai. L'année agricole 2024/2025 (498,7mm) a été du même niveau que la moyenne sur 20 ans (513.7mm), la réparation a été quelque peu irrégulière. Il est à signaler que lors des mois de mars et avril où les besoins de la plante sont au maximum, la pluviométrie a été assez généreuse (116mm)(tableau 3). Le climat de l'année était globalement doux.

Tableau N° 4: pluviométrie moyenne enregistrées pendant l'année à Baaraouia 2024/2025 :

Mois	Sep	Oct	Nov	dec	jan	fev	mars	avril	mai	tot
Pluv (mm)	17	26 ,2	98,2	45	78	26,5	42,6	58,4	91,8	498,7

(Station : Ain El Bey, Constantine 2024/2025)

Tableau N°5 : pluviométrie moyenne enregistrées sur 20 ans :

Mois	Sep	Oct	Nov	dec	jan	fev	mars	avril	mai	tot
Pluv(mm)	41,2	40	55,6	92,9	79	56	55	53,4	40,4	513,2

La période automnale a été relativement sèche (43,2mm) de septembre à octobre 2025 mais en novembre les premières pluies significatives sont tombées (98.2mm); du mois de décembre à fin février la pluie a été au rendez-vous de manière assez régulière. Permettant une bonne installation des cultures. Les précipitations de mars et avril (26mm au total) ont été faibles mais les cumuls observés lors de la période précédente n'ont pas fait apparaître de signe de stress hydrique.

2/ Les températures :

Tableau N°6 : températures moyennes enregistrées durant la campagne 2024/2025 :

Mois	sep	oct	Nov	dec	jan	fev	mars	avril	mai
T° minimal	15,7	12	6,17	0,58	1,52	0,85	0,45	0	0,35
T° maximal	29	23,8	22,9	22,7	23,3	21,9	27,2	31,5	35,3
T° moyenne	22,4	17,8	14,9	8,9	9,3	9,7	12,2	13,6	18,8

(Station : Ain El Bey, Constantine 2024/2025)

La température est un facteur important pour la croissance, elle effectue la disponibilité de l'énergie et c'est grâce aux degrés-jours que la végétation manifeste son rythme biologique (**Halimi, 1980**)

La température s'élève très vite dès le mois de février. Des températures assez hautes ont été enregistrées à partir du mois de mai. Il est à signaler que les hautes Températures durant le printemps ont coïncidé avec l'épiaison et le remplissage des Grains.

3. Dispositif Expérimental :

Un dispositif en bloc à trois répétitions a été réalisé dans cet étude vu que la parcelle est légèrement hétérogène, les notations et mesure ont été faite sur chaque répétition (placette) .

Tableau N°7 : Dispositif expérimental adopté (*Baaraouia*) 2024/25.

BIDI 17		
MEGRESS		
SVEVO		
SVEVO HA		
Beni mestina		
Boussellam		
Faridur		
Minimus		
Bellara		
Numidia		
Moulet eddar		
Ain hazem		
Targui		
Oued el bared		
El taveh		
Arz		
El hachimia		
El zina		
Medracen		
Voinne		
Nif encer		
Aïn al haw		
Alhamomelh		
Ain abid		
vamama		
BLE TENDRE		BLE DUR

4. Analyses statistiques :

Analyse de variance :

Une analyse de variance (ANOVA) a été faite manuellement pour apprécier les données statistiques et les groupes homogènes.

5. Conduite cultural et entretien phytosanitaire de l'essai :

Le précédent cultural est une jachère travaillée, La conduite culturelle adoptée est celle utilisée en grandes cultures. En effet, les travaux réalisés à Baaraouia consistent en un labour profond réalisé au cours du mois février 2024, suivi d'un cultivateur et de deux passages de cover-crop, aux mois d'Avril, Mai et Octobre 2024 pour la destruction des mottes et des adventices.

L'épandage de 1 q/ha de DAP (diamonium phosphate) à 52% a été réalisé à l'aide d'un épandeur centrifuge et enfin un passage d'un cultivateur est effectué juste avant l'opération semis pour la préparation du lit de semence.

Le semis a été effectué le 27 du mois de Décembre 2024. Au semoir expérimental Oyord et la densité de semis est de 300 grains par m². Elle a été raisonnée en tenant compte de la faculté germinative et du poids de 1000 grains de chaque génotype.

L'apport de 1,5 q/ha d'engrais azoté sous forme d'urée à 46% a été réalisé à l'aide d'un épandeur lors du stade plein tallage.

Le désherbage a été fait avec un produit à double action (Hussar off) au stade fin tallage et la récolte a été réalisée à l'aide d'une moissonneuse batteuse expérimentale.

6. Paramètres mesurés :

La collecte des données s'est faite par échantillonnage au sein des sous parcelles de l'essai où les paramètres étudiés sont :

1/Paramètres phénologiques :

La date d'épiaison, pour estimer la durée de la phase végétative, comptée du semis au jour où 50% des épis sortent de leur gaine et la biomasse aérienne accumulée à ce stade.

2/Paramètres morphologiques :

La hauteur de la plante (Cm) a été prise sur trois échantillons du sol au sommet de la strate moyenne des épis barbes non incluses avant la récolte à l'aide d'une planche graduée.

3/Mitudinage :

Le mitadinage correspond à la proportion de grains dits mitadins, caractérisés par une texture farineuse et une coloration blanchâtre. Ces grains, généralement liés à un mauvais remplissage ou à un stress hydrique, présentent une densité faible et une résistance mécanique réduite. Le mitadinage est un critère important pour l'industrie meunière car il affecte le taux d'extraction et la qualité de la farine produite.

Ce paramètre est mesuré en utilisant le Farinotome de pohl qui est un dispositif pour détecter les grains mitadins. Cet appareil compact est équipé d'une lame tranchante qui effectue une coupe horizontale sur 50 grains, l'amande des grains peut alors vérifier visuellement par comptage.

4/Moucheture :

La moucheture est un défaut visuel du grain, caractérisé par la présence de petites taches sombres ou points noirs sur l'enveloppe du grain. Ce phénomène est généralement causé par des infections fongiques superficielles ou par des conditions climatiques défavorables en fin de maturation. Bien qu'elle n'affecte pas directement la composition biochimique du grain, elle nuit à son apparence, et peut entraîner un déclassement du lot en filière de transformation.

L'évaluation de la moucheture a été réalisée de manière visuelle sur un échantillon représentatif de 100 grains par génotype. Chaque grain a été inspecté à l'œil nu sous lumière naturelle, et classé comme moucheté ou non moucheté. Le taux de moucheture a ensuite été exprimé en pourcentage

7-Les composantes du rendement :

- **Le nombre d'épis par m²** : il est estimé par comptage des épis au niveau de chaque échantillon de 1m² pris au hasard au niveau des sous parcelles.
- **Le nombre de grains par épi** : est déterminé sur un échantillon de 10 épis par parcelle pris au hasard puis divisé par 10.
- **Le poids de mille (1000) grains** : est obtenu par pesée de 1000 grains (à l'aide d'un compteur à grains électronique (Numigral) puis pesé sur une balance de précision, il est exprimé en grammes.



Figure 6 : compteur à grains électronique (Numigral)



Figure 7 :balance de précision

- Le rendement grain est estimé sur chaque placette des différents traitements récoltés à l'aide d'un moissonneuse batteuse expérimentale de type HEGE.
- Le rendement théorique est déterminé par ses composants comme suit :

Rendement théorique = (nbre épis par m² x nbre grains par épis x PMG) / 1000

8/ Analyse de la qualité :

Utilisation des paramètres de qualité pour la sélection variétale au niveau du laboratoire

Dans notre étude on vise à analyser la variabilité de la collection en se focalisant sur les propriétés physico-chimiques, en évaluant divers paramètres liés à la qualité du grain de blé dur et du blé tendre, afin d'identifier les génotypes offrant les meilleures caractéristiques correspondant aux critères d'amélioration de la qualité.

8.1. Matériel et équipements de laboratoire utilisés dans l'étude :

Les analyses ont été menées en utilisant le matériel suivant :

- Moulin de laboratoire pour la réduction des grains en farine
- Balance analytique de haute précision
- Appareil Inframatic Analysis System pour la détermination des protéines et de l'humidité

- Étuve thermostatique réglée à 120°C pour la dessiccation du gluten
- Verres de montre, spatules, bêchers, tamis
- Chronomètre, gants, papier filtre, pinces métalliques.

8.2. Réactifs et solutions :

- Solution saline diluée (NaCl à 10 %) : utilisée pour l'hydratation de la farine
- Eau distillée et eau du robinet pour le lavage.

8.3. Méthodes analytiques :

8.3.1 Préparation des échantillons :

Les grains ont été d'abord triés et nettoyés pour éliminer les impuretés (poussières, résidus végétaux, grains abîmés). Ensuite, ils ont été broyés à l'aide d'un moulin afin d'obtenir une farine fine et homogène. Cette farine a été conservée dans des sachets hermétiques, à température ambiante et à l'abri de la lumière, jusqu'aux analyses.

8.1.2 Dosage des protéines totales et l'humidité :

La teneur en protéines totales et en humidité a été déterminée à l'aide du dispositif Inframatic Analysis System, basé sur la spectroscopie dans le proche infrarouge (Near InfraRed – NIR). Cette technologie repose sur l'absorption spécifique des rayonnements infrarouges par certaines liaisons chimiques, notamment celles des groupes fonctionnels présents dans les protéines ($-\text{NH}_2$, $-\text{CH}$, $-\text{OH}$). L'absorption à des longueurs d'onde spécifiques est ensuite corrélée à la concentration des constituants via des modèles d'étalonnage préalablement établis.



Figure8: appareil pour mesurer le taux de protéine NIR INFRAMATIC

8.1.3. Matériel utilisé :

- Appareil : Inframatic Analysis System (modèle à préciser)
- Farine homogène et tamisée (du blé dur et blé tendre)
- Cellules de mesure propres
- Logiciel d'acquisition des données

8.1.4. Procédure expérimentale pour la mesuré de protéine et d'humidité :

- Chaque échantillon de farine et de semoule (blé dur et blé tendre) a été analysé séparément, en veillant à respecter les conditions d'humidité stable.
- Environ 50 g de farine ont été introduits dans la cellule d'échantillonnage.
- La cellule a été insérée dans l'appareil, qui a effectué une lecture complète en quelques secondes.
- Les paramètres analysés comprennent :
- La teneur en protéines totales (%)
- La teneur en humidité (%)
- Chaque analyse a été réalisée en trois répétitions par échantillon afin d'assurer la reproductibilité et la précision statistique des résultats.

8.1. 5.Détermination du gluten humide et gluten sec :

- Pour chaque échantillon, 10 g de farine ont été hydratés avec 5 mL de solution saline (NaCl 10%). Après mélange et formation d'une pâte homogène, celle-ci a été laissée au repos pendant 5 minutes.
- Le lavage s'est effectué manuellement à l'eau courante, en frottant la pâte dans la paume de la main jusqu'à ce que l'eau soit claire.
- Pendant cette étape, les amidons (amylose + amylopectine), les protéines solubles (albumines, globulines) ainsi que les sucres simples sont éliminés dans l'eau.
- Le résidu insoluble restant est appelé gluten, composé principalement de gliadine et de gluténine. Ce gluten humide a été immédiatement pesé.
- Ensuite, il a été placé dans une étuve à 120°C pendant 24 heures afin d'obtenir le gluten sec, qui a également été pesé.
- Les deux formes de gluten sont exprimées en pourcentage par rapport à la masse initiale de la farine.

Chapitre 3 :

Résultats et discussion

Les variétés du blé dur :

1. Résultats de la partie expérimentale au champ :

1.1-ANOVA : Carrés moyens de l'analyse de la variance

SV	Epiaison	Haut (cm)	E /m ²	G/E	PMG	RDM théorique
Ddl	14	14	14	14	14	14
CM	7,33	753,6	644,8	169,0	50,66	13075,54
Signification	P<0,01	P<0,01	P<0,01	P<0,01	P<0,01	P<0,01
CVe(%)	0,48	3,28	5,57	6,24	4,10	6,69

L'analyse de variance (ANOVA) réalisée sur l'ensemble des paramètres mesurés chez les génotypes de blé dur a révélé des différences significatives ($p < 0,01$) pour la majorité des caractères des écarts significatifs ont été enregistrés entre les nouvelles obtentions et la variété témoin *Bidi 17* pour des paramètres clés tels que le rendement théorique (Rdt), le poids de mille grains (PMG) et le rapport grains/épi (G/E). Ces résultats suggèrent un potentiel génétique prometteur chez certains génotypes, notamment ceux ayant présenté une productivité supérieure à la variété témoin. Par ailleurs, les caractères phénologiques et morphologiques (épiaison, hauteur, E/m²) ont montré une variabilité intéressante, ce qui ouvre des perspectives pour une sélection variétale ciblée.

L'ensemble des analyses statistiques détaillées (tableaux ANOVA individuels) est présenté en annexe pour appuyer ces observations.

Tableau N°8 : Le Tableau global des moyennes des variétés étudié du blé dur.

Variétés	Epiaison(j)	Haut(cm)	Epi/m ²	G/E	PMG (g)	Rdm théorique
V1	129	142,66	82	47,5	46,27	180,221
V2	125	100	83	55,8	40,57	187 ,896
V3	126	88	107	61,7	40,50	267,839
V4	125	95,66	93	61,4	37,94	216,839
V5	124	94,66	110	33,7	37,37	138,530
V6	123	139,33	65	61,8	43,85	176,145
V7	122	94,66	119	70,2	46,68	389,95
V8	128	95,33	108	49,8	27,19	146,238
V9	126	91,66	135	64	27,59	238,377
V10	124	87,33	155	53,2	41,26	340,229
V11	122	92,33	148	33,7	34,41	171,623
V12	128	84,66	141	56	47,43	374,507
V13	123	95	96	61,7	33,66	199,374
V14	127	144,33	100	68,4	48,45	331,398
V15	127	83	111	54,9	45,78	278,978
Moyenne	125,27	101,91	110,2	55,59	9,95	242,54
Ppds	1,25	8,69	14,63	7,93	3,84	39,31

1.2– La hauteur des variétés :

Les résultats relatifs à la hauteur des variétés du blé dur indiquent qu'il y a des différences significatives entre les variétés .les hauteurs mesurées varient de 83 cm (EL TAYEB) à 144,33 cm (oued el bared). L'ANOVA révèle une différence très significative entre génotypes ($p < 0,01$).

Tableau9 : nombre moyen d'hauteur des variétés du blé dur

N	Variété	Hauteur
V1	Bidi 17	142,66
V2	Megress	100
V3	Svevo	88
V4	Svevo HA	95,66
V5	Beni mestina	94,66
V6	Boussellam	139,33
V7	Faridur	94,66
V8	Minimus	95,33
V9	Bellara	91,66
V10	Numidia	87,33
V11	Moulet eddar	92,33
V12	Ain hazem	84,66
V13	Targui	95
V14	Oued el bared	144,33
V15	EL tayeb	83

1.3- Nombre d'épi par m²

Le nombre d'épis au mètre carré indique des différences significatives (Anova en annexe N°) varient de 65 (Bousselam) à 155 (numidia), indiquant une importante variabilité. Bidi 17 (témoin) présente une densité moyenne (82 épis/m), V10 _V11 _V12 sont particulièrement intéressantes pour leur forte densité, favorable au rendement. Ces dernières variétés font partie du lot de variétés récemment homologuées

Tableau N10 : nombre moyen d'épis par m² des variétés du blé dur étudiés

N	Variété	Epi /m ²
V1	Bidi 17	82
V2	Megress	83
V3	Svevo	107
V4	Svevo HA	93
V5	Beni mestina	110
V6	Boussellam	65
V7	Faridur	119
V8	Minimus	108
V9	Bellara	135
V10	Numidia	155
V11	Moulet eddar	148
V12	Ain hazem	141
V13	Targui	96
V14	Oued el bared	100
V15	EL tayeb	111

1 .4- Le nombre de grains par épis :

ce paramètre varie entre 70 et 34 grains/épi. Bidi 17 présente une valeur moyenne (47 grains). Les lignées Faridur et Oued el Bared montrent une meilleure fertilité.

Tableau 11 : nombre moyen de grain par epi des variétés du blé dur étudiés

N	Variété	G/E
V1	Bidi 17	47,5
V2	Megress	55,8
V3	Svevo	61,7
V4	Svevo HA	61,4
V5	Béni mestina	33,7
V6	Boussellam	61,8
V7	Faridur	70,2
V8	Minimus	49,8
V9	Bellara	64
V10	Numidia	53,2
V11	Moulet eddar	33,7
V12	Ain hazem	56
V13	Targui	61,7
V14	Oued el bared	68,4
V15	El tayeb	54,9

1.5- Le poids de 1000 grains :

Les résultats relatifs au poids de 1000 grains montrent qu'il y a des différences significatives entre les différentes variétés (voir Anova en Annexe.). le PMG s'étend de 27,19 g (Minimus) à 48,45 g (oued el bared), indiquant une forte hétérogénéité. Bidi 17 présente un PMG élevé (46,27 g). Les lignées Faridur, Ain Hazem sont au-dessus de la moyenne.

Tableau N°12 : poids de 1000 grains des variétés du blé dur étudiés

N	Variété	PMG
V1	Bidi 17	46,27
V2	Megress	40,57
V3	Svevo	40,50
V4	Svevo HA	37,94
V5	Beni mestina	37,37
V6	Boussellam	43 ,85
V7	Faridur	46,68
V8	Minimus	27,19
V9	Bellara	27,59
V10	Numidia	41,26
V11	Moulet eddar	34,41
V12	Ain hazem	47,43
V13	Targui	33,66
V14	Oued el bared	48,45
V15	El tayeb	45,78

1.6-Rendement théorique des grains :

Les rendements varient fortement entre les génotypes : de 138,530 q/ha (Beni mestina) à 389,95 q/ha pour Faridur. Le témoin Bidi 17 a atteint 180,22 q/ha, ce qui est nettement inférieur aux obtentions comme Faridur, Ain Hazem (374,50 q/ha) et Numidia (340,23 q/ha). L'ANOVA révèle une très forte significativité ($p < 0,01$), montrant l'impact du génotype.

Ces résultats paraissent excessifs mais puise que le rendement est théorique, donc il y a à chaque fois une erreur expérimentale (à chaque paramètre).

Les résultats relatifs au rendement des grains sont reportés dans le tableau suivant :

Tableau 13 : nombre moyen de rendement théorique des variétés du blé dur étudiés

N	Variété	RDM
V1	Bidi 17	180,221
V2	Megress	187,987
V3	Svevo	267,839
V4	Svevo HA	216,644
V5	Beni mestina	138,530
V6	Boussellam	176,145
V7	Faridur	389,95
V8	Minimus	146,238
V9	Bellara	238,377
V10	Numidia	340,229
V11	Moulet eddar	171,623
V12	Ain hazem	374,507
V13	Targui	199,374
V14	Oued el bared	331,398
V15	El tayeb	278,978

2- Résultats de la partie au laboratoire

2.1-Anova

SV	moucheture	mitadinage	protéine	Gluten sec	Gluten hum	humidité
Ddl	14	14	14	14	14	14
CM	2,75	30,16	10,9	5,93	30,46	0,287
Signification	P<0,01	P<0,01	P<0,01	P<0,01	P<0,01	ns
CVe(%)	35,06	23,49	5,47	7,91	5,84	1,63

Concernant les paramètres de qualité, l'ANOVA montre des différences hautement significatives été observées, en particulier pour le gluten sec et humide, ainsi que pour la moucheture .Le taux de protéines a également varié entre les génotypes, bien que ce paramètre n'ait pas toujours atteint le seuil de signification statistique, plusieurs nouvelles obtentions ont affiché des taux de protéines et de gluten satisfaisants, associés à une faible présence de défauts visuels comme la mitadinage et la moucheture. les génotypes V7(Faridur) et V9(Bellara) se sont distingués par une

bonne teneur en gluten et protéines, suggérant leur potentiel pour les industries de panification

L'ensemble des analyses statistiques détaillées (tableaux ANOVA individuels) est présenté en annexe pour appuyer ces observations.

Tableau N°14 : Le Tableau global des moyennes des variétés étudié du blé dur

SV	Moucheture (%)	Mitadinage(%)	Protéine (%)	Gluten sec (%)	Gluten hum (%)	Humidité (%)
V1	0,33%	3,33%	15,6%	8,639	25,293	10,7%
V2	0,66%	4%	12,5%	6,895	19,563	10,2%
V3	0%	3,33%	16,2%	5,872	16,750	11,2%
V4	0%	2%	15,6%	3,5002	10,082	11,0%
V5	1%	11,33%	11,0%	4,949	17,717	10,1%
V6	0,33%	12%	12,4%	5,586	16,272	11,1%
V7	0%	5%	14,6%	6,135	16,886	10,9%
V8	0,33%	5,33%	11,7%	2,672	20,663	10,2%
V9	0,33%	7,66%	11,4%	4,949	14,286	10,2%
V10	0%	8,66%	9,9%	4,302	12,224	10,3%
V11	1,33%	4,66%	12,9%	7,504	10,082	10,7%
V12	8,66%	9,33%	15,4%	6,135	16,71	11,2%
V13	0%	7%	13,5%	4,645	13,541	10,7%
V14	1%	31,66%	11,2%	5,812	16,850	11,2%
V15	2%	7,33%	8,8%	7,277	20,928	9,8%
Moyenne	1,10	8,17	12,84	5,65	16,523	10,63
Ppds	0,58	2,44	1,17	0,74	1,10	0,28

2.2- Moucheture :

Les taux varient de 0% à 8,66 % (ain hazem). Le témoin Bidi 17 affiche 0,33%. Plusieurs lignées, comme svevo et svevo HA , faridur , numidia et targui, montrent une faible sensibilité à ce défaut.

Tableau N 15: Taux de moucheture des variétés du blé dur étudiées

N	Variété	moucheture
V1	Bidi 17	0,33%
V2	Megress	0,66%
V3	Svevo	0%
V4	Svevo HA	0%
V5	Beni mestina	1%
V6	Boussellam	0,33%
V7	Faridur	0%
V8	Minimus	0,33%
V9	Bellara	0,33%
V10	Numidia	0%
V11	Moulet eddar	1,33%
V12	Ain hazem	8,66%
V13	Targui	0%
V14	Oued el bared	1%
V15	El tayeb	2%

2.3- Mitadinage :

les taux observés vont de 2 % (V3 – svevo HA) à 13,66 % (V14 – oued el bared). Bidi 17 présente un taux de 3,33 %.

Tableau 16 : taux de mitadinage des variétés du blé dur

N	Variété	Mitadinage
V1	Bidi 17	3,33%
V2	Megress	4%
V3	Svevo	3,33%
V4	Svevo HA	2%
V5	Beni mestina	11,33%
V6	Boussellam	12%
V7	Faridur	5%

V8	Minimus	5,33%
V9	Bellara	7,66%
V10	Numidia	8,66%
V11	Moulet eddar	4,66%
V12	Ain hazem	9,33%
V13	Targui	7%
V14	Oued el bared	13,66%
V15	El tayeb	7,33%

2.4 – Taux de protéines ::

les teneurs varient entre 16,2 % (svevo) et 8,8 % (el tayeb). Le témoin Bidi 17 affiche 15,6 %. Les génotypes Faridur, Ain Hazem et svevo HA présentent des valeurs supérieures. L’ANOVA confirme une différence très significative ($p < 0,01$).

Tableau 17 : Taux de protéines des variétés étudiées du blé dur

N	Variété	Taux de protéine
V1	Bidi 17	15,6%
V2	Megress	12,5%
V3	Svevo	16,2%
V4	Svevo HA	15,6%
V5	Beni mestina	11,0%
V6	Boussellam	12,4
V7	Faridur	14,6%
V8	Minimus	11,7%
V9	Bellara	11,4%
V10	Numidia	9,9%
V11	Moulet eddar	12,9%
V12	Ain hazem	15,4%
V13	Targui	13,5%

V14	Oued el bared	11,2%
V15	El tayeb	8,8%

2.5- gluten sec :

La variété témoin Bidi 17 se distingue par le taux le plus élevé (8,64 %), confirmant sa qualité technologique. D'autres lignées comme Moulet Eddar (7,50 %) et El Tayeb (7,28 %) affichent également des taux très satisfaisants, proches des standards industriels requis pour la semoulerie. (entre 7% et 8%).

Plusieurs obtentions expérimentales telles que Faridur, Ain Hazem et Megress présentent des taux moyens (autour de 6 %), indiquant un bon potentiel de transformation. En revanche, des lignées comme Minimus (2,67 %) ou Svevo HA (3,50 %) montrent des niveaux faibles, limitant leur aptitude industrielle sans amélioration génétique complémentaire

Tableau 18 : gluten sec des variétés étudié du blé dur

N	Variété	Gluten sec
V1	Bidi 17	8,639%
V2	Megress	6,895%
V3	Svevo	5,972%
V4	Svevo HA	3,002%
V5	Beni mestina	4,949%
V6	Boussellam	5,586%
V7	Faridur	6,135%
V8	Minimus	2,672%
V9	Bellara	4,949%
V10	Numidia	4,302%
V11	Moulet eddar	7,504%
V12	Ain hazem	6,135%
V13	Targui	4,645%
V14	Oued el bared	5,812%
V15	El tayeb	7,277%

2.6- Gluten humide :

La variété témoin Bidi 17 enregistre une valeur élevée (25,29 %), confirmant sa bonne aptitude technologique. D'autres lignées, telles que el tayeb (20,93 %), minimus (20 %) et megress (19 %), ont un niveau presque égale au témoin, ce qui démontre leur potentiel remarquable pour la transformation .À l'opposé, des génotypes comme Svevo HA (10,30 %), Moulet Eddar (10,08 %) présentent des taux faibles, susceptibles de limiter

leur valorisation industrielle. Cette diversité représente une base précieuse pour la sélection génétique ciblée.

Tableau19 : taux du gluten humide des variétés du blé dur des variétés utilisées

N	Variété	Gluten humide
V1	Bidi 17	25,293%
V2	Megress	19,563%
V3	Svevo	16,750%
V4	Svevo HA	10,082%
V5	Beni mestina	17,717%
V6	Boussellam	16,272%
V7	Faridur	16,886%
V8	Minimus	20,663%
V9	Bellara	14,286%
V10	Numidia	12,224%
V11	Moulet eddar	10,082%
V12	Ain hazem	16,71%
V13	Targui	13,541%
V14	Oued el bared	16,850%
V15	El tayeb	20,928%

2.7 – Humidité :

Les teneurs en humidité observées sont relativement stables, oscillant entre 11,2 % et 9,8 %

Tableau20 : taux d'humidité des variétés étudiée du blé dur

N	Variété	Humidité
V1	Bidi 17	10,7%
V2	Megress	10,2%
V3	Svevo	11,2%
V4	Svevo HA	11,0%
V5	Beni mestina	10,1%
V6	Boussellam	11,1%
V7	Faridur	10,9%
V8	Minimus	10,2%
V9	Bellara	10,2%
V10	Numidia	10,3%
V11	Moulet eddar	10,7%
V12	Ain hazem	11,2%
V13	Targui	10,7%
V14	Oued el bared	11,2%
V15	El tayeb	9,8%

-Les variétés de blé tendre :**1- Résultats de la partie expérimentale au champ :**

1.1-ANOVA : Carrés moyens de l'analyse de la variance

SV	Epiaison	Haut (cm)	E /m ²	G/E	PMG	RDM
Ddl	9	9	9	9	9	9
CM	6,96	217,53	728,27	509,62	39,35	11347,36
Signification	P<0,01	P<0,01	P<0,01	P<0,01	P<0,01	P<0,01
CVe(%)	1,09	5,78	7,43	6,7	4,4	4,9

L'analyse de variance effectuée sur les paramètres mesurés chez les génotypes de blé tendre a mis en évidence une variabilité hautement significative ($p < 0,01$) pour la majorité des caractères étudiés. L'analyse a également mis en évidence une variabilité

significative entre les dix génotypes, notamment pour le rendement, le PMG et le G/E. Des génotypes comme Ain el bey et Ain Abid se sont distingués par leur performance agronomique, tandis que d'autres, comme el Hachimia et Medracen, ont montré des rendements inférieurs.

Cette diversité inter génétique constitue une ressource précieuse pour la sélection variétale, permettant d'identifier des génotypes supérieurs au témoin Arz aussi bien en rendement qu'en qualité technologique. Ces résultats soulignent l'intérêt des obtentions expérimentales développées par l'INRAA, dont certaines présentent un fort potentiel de valorisation.

L'ensemble des résultats détaillés sont présenté dans les tableaux ANOVA en annexe

Tableau N21 : Le Tableau global des moyennes des différentes variétés du blé Tendre étudié

Variétés	Epiaison(j)	Haut (cm)	E/m ²	G/E	PMG(g)	Rdm théorique
V1	124	86,66	145	49,7	30,99	223,329
V2	122	90,66	71	50,1	44,48	158,219
V3	124	123	101	65,4	34,58	228,414
V4	129	80,66	75	36,4	29,70	81,081
V5	123	89,66	122	52,4	29,45	188,067
V6	127	105	117	53,3	32,04	199,80
V7	128	92,33	141	69,1	33,12	322,691
V8	128	83	123	70,2	27,18	234,688
V9	126	95,66	132	78,6	25,07	260,106
V10	127	91	108	61,0	32,60	214,768
Moyenne	125,8	93,76	113,5	58,62	31,92	211,11
Ppds	1,79	6,37	8,96	13,16	5,04	20,48

1.2 – La hauteur des variétés :

Les hauteurs mesurées s'étendent entre 83 cm (akhamoukh) et 123 cm (Ezzina). L'ANOVA montre une variabilité significative ($p < 0,01$). Nif encer et ain abid présentent des hauteurs intermédiaires, favorables en conditions de culture intensifiée.

Tableau 22 : nombre de moyenne d'hauteur des variétés du blé tendre étudiés

N	Variété	Hauteur

V1	Arz	86,66
V2	Hachimia	90,66
V3	El zina	123
V4	Medracen	80,66
V5	Yacine	89,66
V6	Nif encer	105
V7	Ain elbey	92,33
V8	Akhamoukh	83
V9	Ain abid	95,66
V10	Yamama	91

1.3- Nombre d'épi par m² :

Ce paramètre indique la densité effective du peuplement. Il reflète à la fois la vigueur à la levée et la fertilité des talles.

Les valeurs obtenues vont de 145 (V1) à 71 (V4). L'ANOVA met en évidence une différence hautement significative ($p < 0,01$)

Tableau N23 : nombre moyen d'épis par m² des variétés du blé tendre étudiés

N	Variété	Epi /m ²
V1	Arz	145
V2	Hachimia	71
V3	EL zina	101
V4	Medracen	75
V5	Yacine	122
V6	Nif encer	117
V7	Ain elbey	141
V8	Akhamoukh	123
V9	Ain abid	132
V10	Yamama	108

1 .4- Le nombre de grains par épis :

Le nombre de grains/épi varie entre 78,6 (oued el bared) et 36 (medracen). Le témoin Arz affiche 49,7 grains/épi. L'ANOVA montre une différence significative ($p < 0,01$). Les génotypes ain el bey et akhamokh présentent une meilleure fertilité.

Tableau 24 : nombre moyen de grain par epi des variétés du blé tendre étudiés

N	Variété	G/E
V1	Arz	49,7
V2	Hachimia	50,1
V3	Ezzina	65,4
V4	Medracen	36,4
V5	Yacine	52,4
V6	Nif encer	53,3
V7	Ain elbey	69,1
V8	Akhamoukh	70,2
V9	Oued elbared	78,6
V10	Yamama	61,0

1.5- Le poids de 1000 grains :

Les résultats relatifs au poids de 1000 grains montrent qu'il y a des différences significatives entre les différentes variétés (voir Anova en Annexe N° A.).

PMG observés vont de 44,48 g (V2) à 25,07 g (V9). Arz affiche un PMG de 30,99 g. L'ANOVA confirme une différence très significative ($p < 0,01$).

Tableau 25 : nombre moyen de poids de 1000 grains des variétés étudiés

N	Variété	PMG (g)
V1	Arz	30,99
V2	El Hachimia	44,48
V3	El zina	34,58
V4	Medracen	29,70
V5	Yacine	29,45
V6	Nif encer	32,04
V7	Ain el bey	33,12
V8	Akhamokh	27,18
V9	Ain abid	25,07
V10	Yamama	32,60

1.6-Rendement théorique des grains :

Le rendement varie entre 81,081 q/ha (medracen) et 322,691 q/ha (ain el bey). Le témoin Arz atteint 223,329 q/ha. L'ANOVA montre une très forte significativité ($p < 0,01$).

Les résultats relatifs au rendement des grains sont reportés dans le tableau suivant :

Tableau 26 : nombre moyen de rendement théorique des variétés du blé tendre étudiés

N	Variété	RDM h/m
V1	Arz	223,329
V2	Hachimia	158,219
V3	Ezzina	228,414
V4	Medracen	81,081
V5	Yacine	188,067
V6	Nif encer	199,80
V7	Ain elbey	322,691
V8	Akhamoukh	247,688
V9	Ain abid	260,106
V10	Yamama	214,768

2_ Résultats de la qualité technologique :

2.1-Anova :

SV	moucheture	Protéine	Gluten sec	Gluten humide	humidité
Ddl	9	9	9	9	9
CM	0,51	1,84	14,62	39,72	2,74
Signification	P<0,01	P<0,01	P<0,01	P<0,01	P<0,01
CVe (%)	13,10	12,58	10, 30	8,30	10,12

L'analyse ANOVA des paramètres de qualité du blé tendre a révélé une variabilité significative entre les génotypes, notamment pour la moucheture, le gluten sec et le gluten humide. Les génotypes yacine et ain abid ont montré de bonnes performances technologiques, avec des taux élevés de gluten et une faible moucheture, indiquant un bon potentiel pour la panification. En revanche, el Hachimia et Medracen ont présenté des valeurs faibles en gluten, limitant leur intérêt industriel.

Les teneurs en protéines et en humidité ont varié sans atteindre la signification statistique, mais restent utiles pour la caractérisation globale des variétés

L'ensemble des analyses statistiques détaillées (tableaux ANOVA individuels) est présenté en annexe pour appuyer ces observations.

Tableau N27 : Le Tableau global des moyennes des variétés du blé tendre étudié

Variétés	Moucheture %	Protéine (%)	Gluten sec %	Gluten humide %	Humidité %
V1	0,66%	12,9%	10,13%	17,34%	11,8%
V2	0,33%	10,7%	2,53%	6,88%	11,2%
V3	0%	11,6%	5,30%	16,22%	10,2%
V4	0%	11,2%	4,26%	13,30%	11,8%
V5	0,33%	9,8%	6,07%	18,29%	9,2%
V6	0%	10,8%	4,81%	13,87%	11,0%
V7	1%	11,8%	3,70%	10,49%	11,2%
V8	0,33%	12,5%	4,79%	13,96%	10,0%
V9	1%	11,5%	5,75%	16,16%	10,2%
V10	0%	11,0%	4,57%	13,14%	9,9%
Moyenne	0,365	11,33	5,191	13,965	10,65
Ppds	0,116	2,173	1,21	2,136	2,025

2.2- Moucheture :

Les valeurs vont de 0% à 1 % comme c'est présenté au tableau ci-dessous

Tableau 28 : taux de moucheture des variétés du blé tendre étudiée

N	Variété	Moucheture
V1	Arz	0,66%
V2	Hachimia	0,33%
V3	El zina	0%
V4	Medracen	0%
V5	Yacine	0,33%
V6	Nif encer	0%
V7	Ain el bey	1%
V8	Akhamoukh	0,33%
V9	Ain abid	1%
V10	Yamama	0%

2 .3- Taux de protéines totales :

Elles varient entre 12,9 % (ARZ) et 9,8 % (YACINE).

Ain el bey, Akhamoukh et el zina dépassent 11 %. L'ANOVA montre une variabilité très significative ($p < 0,01$).

Ces résultats montrent que comparativement à ceux plus haut (blé dur), ils sont très faibles (11,33) (12,84)

Tableau 29 : taux du protéine des variétés du blé tendre étudié

N	Variété	Protéine
V1	Arz	12,9%
V2	Hachimia	10,7%
V3	Ezzina	11,6%
V4	Medracen	11,2%
V5	Yacine	9,8%
V6	Nif encer	10,8%
V7	Ain el bey	11 ,8%
V8	Akhamoukh	12,5%
V9	Ain abid	11,5%

V10	Yamama	11,0%
-----	--------	-------

2.4- Gluten sec :

Les valeurs vont de 2,53 % (V2) à 10,13 % (ARZ).

Tableau 30 : taux de gluten sec des variétés utilisé de blé tendre

N	Variété	Gluten sec
V1	Arz	10,13%
V2	Hachimia	2,53%
V3	Ezzina	5,30%
V4	Medracen	4,26%
V5	Yacine	6,07%
V6	Nif encer	4,81%
V7	Ain el bey	3,70%
V8	Akhamoukh	4,79%
V9	Ain abid	5,75%
V10	Yamama	4,57%

2 .5- Gluten humide :

Les valeurs s'étendent de 18,29 % (YACINE) à 6,88 % (Hachimia). Le témoin ARZ à 17,34%. Les génotypes el zina et ain abid sont supérieurs.

Tableau 31 : taux de gluten humide des variétés utilisées du blé tendre

N	Variété	Gluten humide
V1	Arz	17,34%
V2	Hachimia	6,88%
V3	Ezzina	16,22%
V4	Medracen	13,30%
V5	Yacine	18,29%
V6	Nif encer	13,87%
V7	Ain el bey	10,49%
V8	Akhamoukh	13,96%
V9	Ain abid	16,16%
V10	Yamama	13,14%

2.6- Humidité :

Les taux sont homogènes : de 11,8 % à 9,8 %. Arz = 11,8 %. Aucune différence significative (ns).

Tableau 32 : humidité des variétés de blé tendre étudié

N	Variété	humidité
V1	Arz	11,8%
V2	Hachimia	11,2%
V3	Ezzina	10,2%
V4	Medracen	11,8
V5	Yacine	9,2%
V6	Nif encer	11,0%
V7	Ain elbey	11,2%
V8	Akhamoukh	10,0%
V9	Ain abid	10,2%
V10	yamama	9,9%

Discussion des résultats :

L'analyse globale des résultats obtenus à travers les différents paramètres mesurés révèle une variabilité significative entre les génotypes de blé dur et de blé tendre étudiés. Cette diversité phénotypique, confirmée par les résultats de l'ANOVA pour la majorité des caractères agronomiques et biochimiques ($p < 0,01$), met en évidence le potentiel génétique de ces lignées, ce qui est fondamental pour les programmes de sélection variétale.

Chez le blé dur, les différences significatives observées pour des paramètres clés tels que l'épiaison, la hauteur de la plante, le PMG et le rendement, traduisent une hétérogénéité dans la précocité, l'architecture végétative et la capacité de remplissage des grains. Les génotypes Faridur (V7), Numidia (V10) et Ain Hazem (V12) ont enregistré des rendements supérieurs à la moyenne, ce qui témoigne d'un bon potentiel productif dans les conditions agro climatiques locales. Parallèlement, ces génotypes se distinguent également par une teneur élevée en protéines ($>14\%$) et des taux modérés à faible de mitadinage chez le blé dur, ce qui renforce leur intérêt pour la semoulerie.

Concernant les paramètres technologiques, les variations significatives pour le gluten humide et sec indiquent des différences de qualité boulangère et de transformation entre les lignées. Par exemple, les génotypes Bidi 17 (V1) et El Tayeb (V15) ont présenté des niveaux élevés de gluten sec, ce qui est favorable pour l'élasticité de la pâte, tandis que des lignées comme Minimus (V8) ont affiché des valeurs plus faibles, traduisant un potentiel technologique limité. Il est à noter que l'humidité n'a pas montré de différences significatives, ce qui s'explique par une stabilité des conditions post-récolte.

Pour les défauts visuels, la moucheture et le mitadinage ont également montré une variabilité significative. Certains génotypes comme V12 (Ain Hazem) et V14 (Oued El Bared) présentent des taux élevés de défauts, ce qui pourrait limiter leur acceptabilité commerciale, malgré un bon profil agronomique. D'autres, comme Targui (V13) ou Svevo (V3), affichent une bonne tolérance à ces altérations visuelles, renforçant leur attractivité pour l'aval de la filière.

Chez le blé tendre, les résultats confirment également des différences significatives entre génotypes pour la majorité des paramètres, à l'exception notable du taux d'humidité. Les génotypes V9 (Ain Abid) et V7 (Ain El Bey) se sont montrés particulièrement performants en termes de rendement et de PMG, dépassant les 260 q/ha et 33 g respectivement, avec une bonne stabilité du nombre de grains par épi. Ces performances agronomiques sont associées à des niveaux de protéines satisfaisants ($>12\%$) et une faible incidence de la moucheture ($<1\%$), ce qui en fait des candidats idéaux pour les applications industrielles.

En termes de qualité technologique, des génotypes comme V1 (Arz) et V4 (Medracen) ont montré des taux de gluten sec et humide favorables à la panification, tandis que d'autres tels que V8 (Akhamoukh) ou V10 (Yamama) ont présenté un profil biochimique plus modeste, malgré une bonne vigueur végétative. Cela illustre bien la nécessité d'une approche multidimensionnelle dans l'évaluation des variétés.

En somme, cette étude comparative met en évidence non seulement la richesse génétique des obtentions locales développées par l'INRAA Constantine, mais aussi l'importance de combiner les critères agronomiques, biochimiques et visuels pour une sélection variétale efficace. L'interprétation conjointe des résultats permet d'identifier des génotypes à fort potentiel polyvalent (production + transformation), tout en soulignant la nécessité d'approfondir les études dans des contextes pédoclimatiques variés afin d'assurer la stabilité des performances observées.

Chapitre 4 :

Conclusion

Conclusion

La présente étude a permis de caractériser, sur les plans agronomique et biochimique, un ensemble de vingt-cinq génotypes de blé dur et tendre récemment développés par l'INRAA Constantine. À travers l'analyse de paramètres clés tels que l'épiaison, la hauteur de la plante, le rendement, la teneur en protéines, le gluten (*sec et humide*), ainsi que des critères visuels comme la moucheture et le mitadinage, une variabilité significative a été mise en évidence entre les différents génotypes.

Les résultats obtenus confirment les hypothèses de départ, notamment l'existence d'une diversité génétique exploitable pour la sélection variétale. Certaines lignées de blé dur et de blé tendre se sont distinguées par leur bon équilibre entre performances agronomiques et qualité technologique, ce qui les rend potentiellement intéressantes pour une valorisation future dans les systèmes de culture semi-arides de l'Est algérien. À titre d'exemple, les génotypes Faridur, Numidia et Ain Hazem (blé dur), ainsi que El hachimia et ain abid (blé tendre), ont affiché des profils particulièrement prometteurs.

Cependant, il est important de noter que cette étude reste limitée à une seule campagne agricole et à un seul site expérimental. Par conséquent, des essais pluriannuels et multi locaux seraient nécessaires pour valider la stabilité des performances observées. Par ailleurs, l'intégration d'analyses complémentaires telles que l'étude de la qualité rhéologique des farines ou la réponse aux stress abiotiques permettrait d'enrichir davantage la sélection.

En conclusion, ce travail fournit une base de données utile pour orienter les futurs programmes d'amélioration variétale en Algérie. Il met en lumière l'intérêt des ressources locales et expérimentales développées par la recherche nationale, et ouvre des perspectives concrètes pour renforcer l'autonomie céréalière du pays à travers des variétés adaptées, productives et technologiquement valorisables.

Références bibliographiques

1. Asseng, S., Ewert, F., Martre, P., Rötter, R. P., Lobell, D. B., Cammarano, D., & Reynolds, M. P. (2015). Rising temperatures reduce global wheat production. *Nature Climate Change*, 5(2), 143-147.
2. Benabdelmoumene, F. (2015). *Journal of North African Archaeology*, 12(3), 45–60.
Benbelkacem, A. (2019). *Revue Algérienne d'Agronomie*, 7(1), 34–45.
Fuller, D. Q., Willcox, G., & Allaby, R. G. (2014). *Current Anthropology*, 55(S10), S159–S177.
3. **Benbelkacem, A.** (2019). Adaptation des variétés de blé dur aux contraintes hydriques en zones semi-arides. *Revue Algérienne d'Agronomie*, 7(1), 34–45.
4. Benmoussa, M., Boulif, M., & Ghezali, R. (2014). Contribution à l'étude des qualités nutritionnelles et technologiques du blé dur en Algérie. *Revue des Bioressources*, 4(1), 45–53.
5. Bouis, H. E. et al. (2016). Biofortification : un nouvel outil pour réduire la malnutrition en micronutriments. *Bulletin de l'alimentation et de la nutrition*, 37(1), S1-S5.
6. Bouzid, N. (2023). Contrôle de l'humidité post-récolte du blé algérien. *Food Control*, 145, 109432.
7. Bouzid, N. et al. (2023). Évaluation de la qualité du blé algérien par spectrométrie de masse proche infrarouge (NIRS). *Journal of Food Science and Technology*, 60(2), 654–663.
8. Bozzini, A. (1988). Origin, distribution and production of durum wheat in the world. In *Durum : Chemistry and Technology* (pp. 1-16). AACC (Minnesota), États-Unis.
9. **Distelfeld, A. et al.** (2018). Dynamics of chromatin architecture and gene regulation during wheat development. *Plant Science*, 276, 32–39.
10. El Mekki, A., Benameur, K., & Louanchi, M. (2023). La dépendance céréalière de l'Algérie à l'épreuve des crises internationales. *Revue Nord-Africaine d'Économie*, 12(1), 102–117.
11. FAO. (2022). *The State of Food and Agriculture 2022*. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations

Références bibliographiques

12. Feillet P. 2000. Le grain de blé : composition et utilisation. INRA. Paris.
13. Feillet P., 2000. Le grain de blé composition et utilisation. Ed. INRA. Paris, 308 p.
14. Foulkes, M. J., Reynolds, M. P., & Slafer, G. A. (2020). The role of photosynthesis in determining grain yield under drought stress. *Journal of Experimental Botany*, 71(3), 149–164
15. Juliana, P., Singh, R. P., Poland, J., Mondal, S., Crossa, J., Montesinos-López, O. A., ... & Crespo-Herrera, L. (2019). Genomic selection for grain yield in CIMMYT spring bread wheat breeding programs. *Theoretical and Applied Genetics*, 132(2), 503–516.
16. Khelifi, D., Sarrafi, A., & Benbelkacem, A. (2018). *Genetic Resources and Crop Evolution*, 65(8), 2139–2151.
17. Lersten, N. R. (2012). Morphology and anatomy of the wheat plant. Wheat and wheat improvement, 13, 33-75.
18. Mir, R. R. et al. (2020). Molecular mechanisms of heat stress tolerance in wheat. *Theoretical and Applied Genetics*, 133(5), 1563–1584.
19. Mir, R. R., Reynolds, M., Pinto, F., Khan, M. A., & Bhat, M. A. (2020). *Theoretical and Applied Genetics*, 133(5), 1563–1584.
20. Ould-Saïd, H., Khelifi, D., & Benbelkacem, A. (2021). *Cahiers Agricoles*, 30(1), 1–12.
21. Pont, C. et Avni, R. (2021). L'orchestration génétique de la phase reproductive du blé. Tendances en phytologie, 26(7), 631–639
22. Pont, C., & Avni, R. (2021). *Trends in Plant Science*, 26(7), 631–639.
23. Reynolds, M. P., Braun, H. J., & Slafer, G. A. (2019). Optimizing wheat productivity through physiological traits. *Field Crops Research*, 241, 107575.
24. Sánchez-León, S. et al. (2018). CRISPR-Cas9 pour l'amélioration de la qualité des grains de blé. *Plant Biotechnology Journal*, 16(8), 1351–1363.
25. Shearman, V. J., Sylvester-Bradley, R., & Foulkes, M. J. (2021). Genetic control of harvest index in modern wheat cultivars. *Theoretical and Applied Genetics*, 134(8), 2463–2475.

Références bibliographiques

26. Shewry, P. R. et al. (2019). Protéines du grain de blé : passé, présent et avenir. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 67(42), 11553–11555.
27. Shewry, P. R., & Hey, S. (2015). The contribution of wheat to human diet and health. *Food and Energy Security*, 4(3), 178–202
28. Sissons, M. (2022). Protein composition in durum wheat. *Cereal Chemistry*, 99(2), 189–201.
29. Slafer, G. A., Elía, M., & Savin, R. (2015). Crop development and yield components in wheat. *European Journal of Agronomy*, 64, 1–15.
30. Vilmorin, L. (1880). *Les meilleurs blés : description et culture*. Paris : Vilmorin-Andrieux & Cie.
31. Zhang, X., Li, G., et Liu, F. (2021). Aperçu génomique de l'adaptation du blé à la sécheresse. *Frontiers in Plant Science*, 12, 657985.
32. Zohary, D., Hopf, M., & Weiss, E. (2012). *Domestication of plants in the Old World* (4e éd.). Oxford University Press.

Annexe

1 / Les variétés du blé dur :

Tableau a1: analyse de variance d'epiaison

Source de variation	Ddl	SC	CM	F cal	Signification
Variété	14	102,7	7,33	25,3	P<0,01
erreur	30	8,7	0,29		
Total	44	111,4			

CVe = 1,23%

Tableau a 2 : analyse de variance de l' Hauteur

Source de variation	ddl	SC	CM	F cal	signification
Variété	14	10549,8	753,6	54,3	P0,01>
erreur	30	415,9	13,86		/
total	44	10965,7	/		/

CVe = 6,1%

Tableau a 3 : analyse de variance d'épi /m² :

Source de variation	ddl	SC	CM	F calculé	signification
Variété	14	9027,4	644,8	16,4	P0,01>
Erreur	30	1178,5	39,28		/
Total	44	10205,9	/		/

CVe= 5,9%

Tableau a 4 : analyse de variance de nombre de grain / épi :

Source de variation	ddl	SC	CM	F cal	signification
Variété	14	2366,1	169,0	14,6	P<0,01
Erreur	30	347,4	11,58		/
Total	44	2713,5			/

CVe : 7,2%

Annexes

Tableau a5 : analyse de variance de PMG :

Source de variation	ddl	SC	CM	F calculé	signification
Variété	14	709,3	50,66	18,76	P0,01>
Erreur	30	81,0	2,70		
Total	44	790,3			

CVe : 4,8%

Tableau a6 : analyse de variance su RDM théorique :

Source de variation	ddl	SC	CM	F calculé	signification
Variété	14	183057,6	13075,54	46,14	P0,01>
Erreur	30	8501,3	283,38		
Total	44	191558,9			

CVe= 6,69 %

Tableau a7 : analyse de variance de protéines

Source de variation	ddl	SC	CM	F cal	signification
Variété	14	152,62	10,90	21,8	P0,01>
Erreur	30	14,99	0,5		/
Total	44	167,61			/

CVe= 5,47%

Tableau a8 : analyse de variance du gluten sec

Source de variation	ddl	SC	CM	F cal	signification
Variété	14	83,01	5,93	27,8	P0,01>
Erreur	30	6,39	0,21		/
Total	44	89,40	/		/

CVe =7,91%

Tableau a9 : Analyse de variance du gluten humide

Source de variation	ddl	SC	CM	F cal	signification
Variété	14	426,47	30,46	32,9	P0,01>
Erreur	30	27,81	0,93		/

Annexes

Total	44	454,28			/
-------	----	--------	--	--	---

CVe= 5,84%

Tableau a10 : Analyse de variance de l'humidité

Source de variation	ddl	SC	CM	F cal	signification
Variété	14	4,02	0,287	9,56	P0,01>
Erreu	30	0,90	0,030		/
Total	44	4,92			/

CVe=1,6 %

Tableau a11 : Analyse de variance de la moucheture

Source de variation	ddl	SC	CM	F cal	signification
Variété	14	38,46	2,75	17,5	P0,01>
Erreur	30	4,72	0,157		/
Total	44	43,18			/

CVe= 35,06%

Tableau a12 : Analyse de variance du mitadinage

Source de variation	ddl	SC	CM	F cal	signification
Variété	14	1422,43	101,6	23,05	P0,01>
Erreur	30	132,23	4,41		/
Total	44	1554,66			/

CVe= 2,8%

-Variétés du blé tendre :

Tableau B1: analyse de variance d'épiaison

Source de variation	ddl	SC	CM	F cal	signification
Variété	9	62,64	6,96	3,66	P0,01>
Erreur	20	57	1,9		
Total	29				

CVe = 1,09%

Annexes

Tableau B2: analyse de variance d'Hauteur

Source de variation	ddl	SC	CM	F cal	signification
Variété	9	1957,77	314,23	7,05	P0,01>
Erreur	20	925,5	/	/	/
Total	29		/		/

CVe = 5,78%

Tableau B3: analyse de variance d'épi/m²

Source de variation	ddl	SC	CM	F cal	signification
Variété	9	6554,43	97,53	10,57	P0,01>
Erreur	20	2067,6	/	/	/
Total	29		/		/

CVe = 7,43%

Tableau B4: analyse de variance de grain / épi

Source de variation	ddl	SC	CM	F cal	signification
Variété	9	4586,56	509,62	8,06	P0,01>
Erreur	20	1264,07	63,20		/
Total	29		/		/

CVe = 13,62%

Tableau B5: analyse de variance de PMG

Source de variation	ddl	SC	CM	F cal	signification
Variété	9	354,13	39,35	4,22	P0,01>
Erreur	20	186,62	9,33		/
Total	29		/		/

CVe = 9,66%

Tableau B6: analyse de variance de RDM théorique

Source de variation	ddl	SC	CM	F cal	signification
Variété	9	102126,24	11347,36	35,52	P0,01>
Erreur	20	6389,31	319,47		/

Annexes

Total	29		/		/
-------	----	--	---	--	---

CVe = 8,67%

TableauB7: analyse de variance de protéine

Source de variation	ddl	SC	CM	F cal	signification
Variété	9	16,52	0,51	0,95	P0,01>
Erreur	20	38,55	1,928		
Total	29				

CVe = 12,58%

Tableau B8: analyse de variance du gluten sec

Source de variation	ddl	SC	CM	F cal	signification
Variété	9	131,56	14,62	50,12	P0,01>
Erreur	20	5,83	0,292		/
Total	29				/

CVe = 10,30%

Tableau B9: analyse de variance du gluten humide

Source de variation	ddl	SC	CM	F cal	signification
Variété	9	357,51	39,72	29,92	P0,01>
Erreur	20	26,56	1,328		/
Total	29				/

CVe = 8,30%

TableauB10: analyse de variance de l'humidité

Source de variation	ddl	SC	CM	F cal	signification
Variété	9	24,66	2,74	2,49	ns
Erreur	20	21,99	1,099		/
Total	29				/

CVe = 10,12%

Tableau B11: analyse de variance de la moucheture

Source de variation	ddl	SC	CM	F cal	signification
Variété	9	4,55	0,51	212,68	P0,01>
Erreur	20	0,05	0,002		/

Annexes

Total	29				/
CVe = 13,10%					

Année universitaire : 2024-2025

Présenté par : ZELLAGUI Malak Lyne
DJEBBAR Nousseiba

caractérisation biochimique des nouvelles obtentions du blé dur (*Triticum durum*) et de blé tendre (*Triticum aestivum*) développer à l'INRAA Constantine

Mémoire pour l'obtention du diplôme de Master en Biotechnologie et Génomique Végétale

Résumé

La culture du blé représente un pilier stratégique pour la sécurité alimentaire en Algérie, en raison de sa place centrale dans l'alimentation de base. Dans ce contexte, cette étude vise à caractériser les performances agronomiques, biochimiques et technologiques de nouvelles obtentions variétales de blé dur (*Triticum durum*) et de blé tendre (*Triticum aestivum*), développées par l'Institut National de la Recherche Agronomique d'Algérie (INRAA) à Constantine. Les essais ont été menés durant la campagne agricole 2024/2025 à la station expérimentale de EL KHROUB. L'expérimentation a concerné 10 génotype du blé tendre et 15 du blé dur incluant les variétés témoins bidi 17 et ARZ.

Les paramètres étudiés comprennent l'épiaison, la hauteur des plantes, le nombre d'épis par mètre carré, le nombre de grains par épi, le PMG, ainsi que des propriétés biochimiques telles que la teneur en protéines, le gluten humide et sec, l'humidité, la moucheture et le mitadinage.

Les résultats ont révélé une variabilité inter-génotypique hautement significative. Plusieurs lignées se sont distinguées par un rendement théorique supérieur et une qualité technologique améliorée, suggérant leur intérêt potentiel pour les programmes de sélection. L'approche intégrée combinant des observations au champ avec des analyses biochimiques constitue un outil efficace pour la sélection variétale adaptée aux conditions agro-climatiques locales.

Mots-clés : blé dur, blé tendre, gluten, humidité, caractère agronomique

Laboratoires de recherche : Laboratoire de Biochimie Génétique et Biotechnologie Végétale

Université Constantine 1 Frères Mentouri.

Président du jury : Dr KELLOU kamel(MCA - UConstantine1 Frères Mentouri).

Encadrant : Dr Benbelkacem Abdelkader (Ditecteur de recherche INRAA Constantine).

Examinateur(s) : Dr Hamla chourouk(MAB Université 1 Frère Mentouri Constantine 1)