

République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la recherche scientifique
Université mouloud Mammeri de Tizi- Ouzou



Faculté des sciences biologiques et sciences agronomiques
Département d'agronomie

En vue de l'obtention de diplôme de master
Spécialité : productions végétales

Thème :

Etude de quelques caractéristiques de la
qualité technologique de quelques variétés de
blé dur en cour d'homologation

Réalisé par :

DAHIM KAHINA

Soutenu publiquement devant le jury composé de :

Président :	Mme BOUTEBTOUB W	Maître de conférences « B »	UMMTO
Promotrice :	Mme LAHMISSI. A	Maître de conférences « B »	UMMTO
Co-promotrice :	Mme MADANI. M	Ingénieur en chef	ITGC
Examinatrice :	Mme CHAIBI.M	Maître de conférences « B »	UMMTO

Année universitaire : 2022/2023

Remerciement

Avant tout, je remercie dieu le tout puissant de m'avoir donné le courage et la patience pour réaliser ce modeste travail.

J'adresse mes remerciements aux personnes qui m'ont aidé dans la réalisation de ce mémoire

En premier lieu, je remercie Mme LAHMISSI. A Maître de conférences « B » à l'université de Mouloud Mammeri de TIZI –OUZOU, pour avoir accepté de m'encadrer, pour son suivi, ses conseils et ses corrections.

Mes remerciements vont à Mme BOUÏEBTOUB, maître de conférences « B » à l'université de Mouloud Mammeri de Tizi- Ouzou qui a bien voulu me faire l'honneur de présider le jury.

Je remercie aussi Mme MADANI M, ingénieur en chef à l'ITGC, étant que Co-promotrice, elle m'a Guidé dans mon travail et m'a aidé à trouver des solutions pour avancer, pour son aide précieuse à la relecture et à la correction de mon mémoire.

Je tien a remercié Mme CHAIBI .M, Maître de conférences « B » à l'université de Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou, pour l'honneur qu'elle m'a fait en acceptant d'examiner ce travail.

Je remercie aussi le personnel de l'ITGC en particulier Mme AKKOUCHE. A et SELLAM. L qui m'ont aidé à réaliser mes analyses avec succès, et ont répondu à toutes mes questions.

Mes remerciements les plus sincères vont également à mes collègues de la promotion productions végétales 2022/2023.

Mes remerciements sont adressés aussi à tous ceux qui ont contribué de près ou de loin à la réalisation de ce travail.

DEDICACES

Je dédie ce travail

A ma famille, elle qui m'a doté d'une éducation digne, Son amour a fait de moi ce que je suis aujourd'hui

Particulièrement à mon père SAÏD, pour le goût à l'effort qu'il a suscité en moi, de part sa rigueur.

A toi ma mère FATMA, ceci est ma profonde gratitude pour ton éternel amour, que ce rapport soit le meilleur cadeau que je puisse t'offrir.

A vous mon frère JUGURTHA et à ma sœurs RANIA qui m'avez toujours soutenu et encouragé durant ces années d'études. je vous souhaite le bonheur dans votre vie

A mes deux grands parents et à tous mes proches

A tous ceux qui cherchent le savoir

Kahina

LISTE DES ABBREVIATIONS

%/ms. Pour cent par rapport à la matière sèche

AACC. American Association Cereal Chemists

ACP. Analyse en composantes principales

ACSAD. Arab Center for the Studies of Arid Zones and Dry Lands

CIMMYT. Centre International de l'Amélioration du Maïs et du Blé

FDPS. Ferme de Démonstration et de Production de Semence.

G/100g de MS. Gramme par cent grammes de la matière sèche

g/MS. Gramme par rapport à la matière sèche

GH. Gluten Humide

GH%/MS. Teneur en gluten humide par rapport à la matière sèche

GS. Gluten Sec

GS%/MS. Teneur en gluten sec par rapport à la matière sèche

H%. La teneur en eau en pourcentage

H.g(%). Teneur en eau des grains

H.s (%). Teneur en eau des semoules

IB. Indice de Brun

ICARDA. Centre International de recherche agronomique en zones

IJ. Indice de Jaune

ISO. Organisation international de standardisation

Kg. Kilogramme

M.A.D.R. Ministère de l'Agriculture et de Développement Rural

Mg. Milligramme

MS. Matière Sèche

PMG. Le poids de mille grains

Pré-Mul. Pre multiplication

Prod. Production

QX. Quintaux

RDT. Rendement

SDS (ml). Test de sédimentations SDS en millilitre

Signifi. Stat. Signification statistique

T. mouch. Taus de moucheture en pourcentage

T.C(%). Taux des cendres en pourcentage

T.E(%). Taux d'extraction en pourcentage

TP (%). Teneur en protéines totales en pourcentage

Liste des figures

Figure 1. Origine génétique du blé

Figure 2. Caractéristique morphologique de blé dur.

Figure 3. Morphologie et histologie du grain de blé dur

Figure 4. L'anatomie du grain de blé

Figure 5. Schéma de la partie reproductrice du blé

Figure 6. Stade repères du cycle de développement et itinéraire technique du blé

Figure 7. Schéma de sélection de blé dur en Algérie

Figure 8. Tamisage des grains de blé dur (pré nettoyage)

Figure 9. Mélangeur des grains

Figure 10. Bocal hermétique ferme

Figure 11. Moulin de type NAMAD.

Figure 12. Conservation des semoules dans des saches en papier

Figure 13. Appareil manuel de 1 litre de type Niléma-litre.

Figure 14. Remplissage des grains un bucher connu de 500ml.

Figure 15. Le compteur à grains NUMIGRAL

Figure 16. Balance analytique

Figure 17. Scalpel

Figure 18. Appareillage nécessaire pour déterminer la teneur en eau des échantillons.

Figure 19. Appareil d'indice de jaune et brune « spectrophomètre »

Figure 20. Appareillage nécessaire pour déterminer la teneur en gluten sec et humide des échantillons.

Figure 21. Appareil du mexographe

Figure 22. Schéma des étapes de la production des pâtes alimentaires.

Figure 23. Détermination du temps minimal de cuisson.

Figure 24. Cercles de corrélation

Figure 25. Projection des individus sur l'axe 1 et 2.

Liste des tableaux

Tableau 1. Classification du blé dur

Tableau 2. Principaux producteurs et importateurs de blé dur dans le monde

Tableau 3. Répartition de la superficie, des rendements, de la production et de taux d'accroissement 2018/2019.

Tableau 4. Effet de la teneur en protéines sur la qualité des pâtes à base de blé dur (pertes à la cuisson, fermeté)

Tableau 5. Liste des neuf variétés de blé dur étudiées.

Tableau 6. Caractéristiques climatiques de la campagne agricole 2021/2022 de Tiaret.

Tableau 7. Teneur en humidité des graines des blés étudiés.

Tableau 8. Teneur en eau des semoules des blés étudiés.

Tableau 9. Valeurs du poids spécifique des blés durs étudiés.

Tableau 10. Valeurs du PMG des variétés de blé étudiées.

Tableau 11. Classement des variétés de blé dur en fonction de leur PMG

Tableau 12. Taux de moucheture des grains de blé dur étudiés.

Tableau 13. Valeur du taux de mitadinage des variétés de blé étudiées.

Tableau 14. Taux d'extraction des blés durs étudiés.

Tableau 15. Taux de cendres des blés durs étudiés.

Tableau 16. Taux de protéines des blés durs étudiés.

Tableau 17. Classement des variétés

Tableau 18. Indice de jaune des variétés du blé dur étudiées.

Tableau 19. Classement des variétés étudiées selon l'indice de jaune.

Tableau 20. Indice de brun des blés durs étudiés.

Tableau 21. Taux de sédimentation des variétés de blé dur étudiées.

Tableau 22. Rapport SDS/teneur en protéines (SDS index).

Tableau 23. Teneur en gluten humide des blés durs étudiés.

Tableau 24. Taux de gluten sec des variétés de blé dur étudiées.

Tableau 25. Teneur en gluten index des blés durs étudiés.

Tableau 26. Capacité d'hydratation des semoules des blés durs étudiés.

Tableau 27. Résultats du mixogramme des blés durs testés.

Tableau 28. Classification des temps de développement des variétés étudiées

Tableau 29. Classement des variétés selon leur force de la hauteur du pic (exprime en %)

Tableau 30. Résultats des tests de cuisson des pâtes alimentaires fabriquées.

Tableau 31. Résultats de fermeté et délitescence par le rapport $(T+6 \text{ min}) + (T+11 \text{ min}) / 2$.

Tableau 32. Tableau récapitulatif des caractéristiques physico-chimiques et technologiques des variétés étudiées.

Sommaire

Introduction	1
Chapitre I : Synthèse bibliographique	
I.1 Historique du blé.....	3
I.2. Origine génétique et classification du blé.....	3
I.2.1. Origine génétique du blé dur.....	3
I.2.2. Classification du blé dur	4
I.3. Importance et production du blé dur.....	5
I.3.1. Dans le monde.....	5
I.3.2. En Algérie	6
I.4. Description générale du blé dur	7
I.4.1. Description morphologique	7
I.4.2. Morphologie et structure histologique du grain.....	8
I.4.3. Composition histologique du grain de blé	9
I.4.4. Appareil reproducteur	9
I.5. Composition biochimique de la graine de blé dur	10
I.6. Exigence du blé en éléments minéraux essentiels	11
I.6.1. La fertilisation azotée.....	11
I.6.2. Rapport phospho-potassique	12
I.7. Le cycle végétatif du blé dur.....	12
I.7.1. La germination et la levée.....	12
I.7.2. Le tallage.....	12
I.7.3. La phase épiaison-floraison	12
I.7.4. La montaison-Gonflement	13
I.7.5. Le Remplissage et La Maturation du Grain	13
I.8. L'amélioration génétique des blés durs	14
I.8.1. Définition	14
I.8.2. Objectifs de l'amélioration du blé.....	14
I.8.3. Méthode de sélection classique.....	14
I.8.3.1. Critères de la sélection classique	15
I.8.4. Processus de sélection au niveau de l'ITGC.....	15
I.8.5. Processus d'homologation d'une variété	15

I.9. Transformation du blé dur	16
I.9.1. Première transformation.....	16
I.9.2. Deuxième transformation.....	18
I.10. Deuxièmes transformations du blé dur	22
I.10.1. Définition	22
I.10.2. Valeur semoulière	23
I.10.3. La valeur pastières	25

Chapitre II : Matériel et méthodes

II.1. Objectif du travail	26
II.2. Les conditions expérimentales et mesures effectuées au laboratoire	26
II.2.1. Lieu de stage	26
II.2.2 Matériel végétal utilisé	26
II.2.3. Description du des conditions climatique du site de culture des variétés expérimentées .	27
II.3. Expérimentation.....	29
II.3.1. Echantillonnage	29
II.3.1. Préparation des échantillons à la mouture	29
II.3.1.1. Nettoyage	29
II.3.1.2. Conditionnement	30
II.3.1.3. La mouture.....	31
II.4. Méthodes analytiques	32
II.4.1. Analyses physiques.....	32
II.4.1.1. Poids Spécifique ou masse volumique	32
II.4.1.2. Poids de mille graines (PMG)	33
II.4.1.3. Le taux de mitadinage des grains.....	34
II.4.1.4. Taux de moucheture	35
II.4.2. Les analyses chimiques	36
II.4.2.1. Teneurs en eau	36
II.4.2.2. Teneur en cendres	38
II.4.2.3. Dosage de taux de protéines	40
II.4.3. Les analyses technologiques.....	42
II.4.3.1. Indice de coloration	42
II.4.3.2. Teneur en gluten humide, sec	43

II.4.3. 3. Teste de sédimentation (SDS)	46
II.4.3.4. Taux d'extraction	47
II.4.3. 5. Test au Mixographe	47
II.5. Essai de pastification	48
II.5.1. Les étapes du diagramme de fabrication	49
II.5.2. Appréciation de la qualité de la pâte alimentaire.....	50
II.5.3. Appréciation de la qualité culinaire de la pâte.....	50
II.6. Etude analytique	52

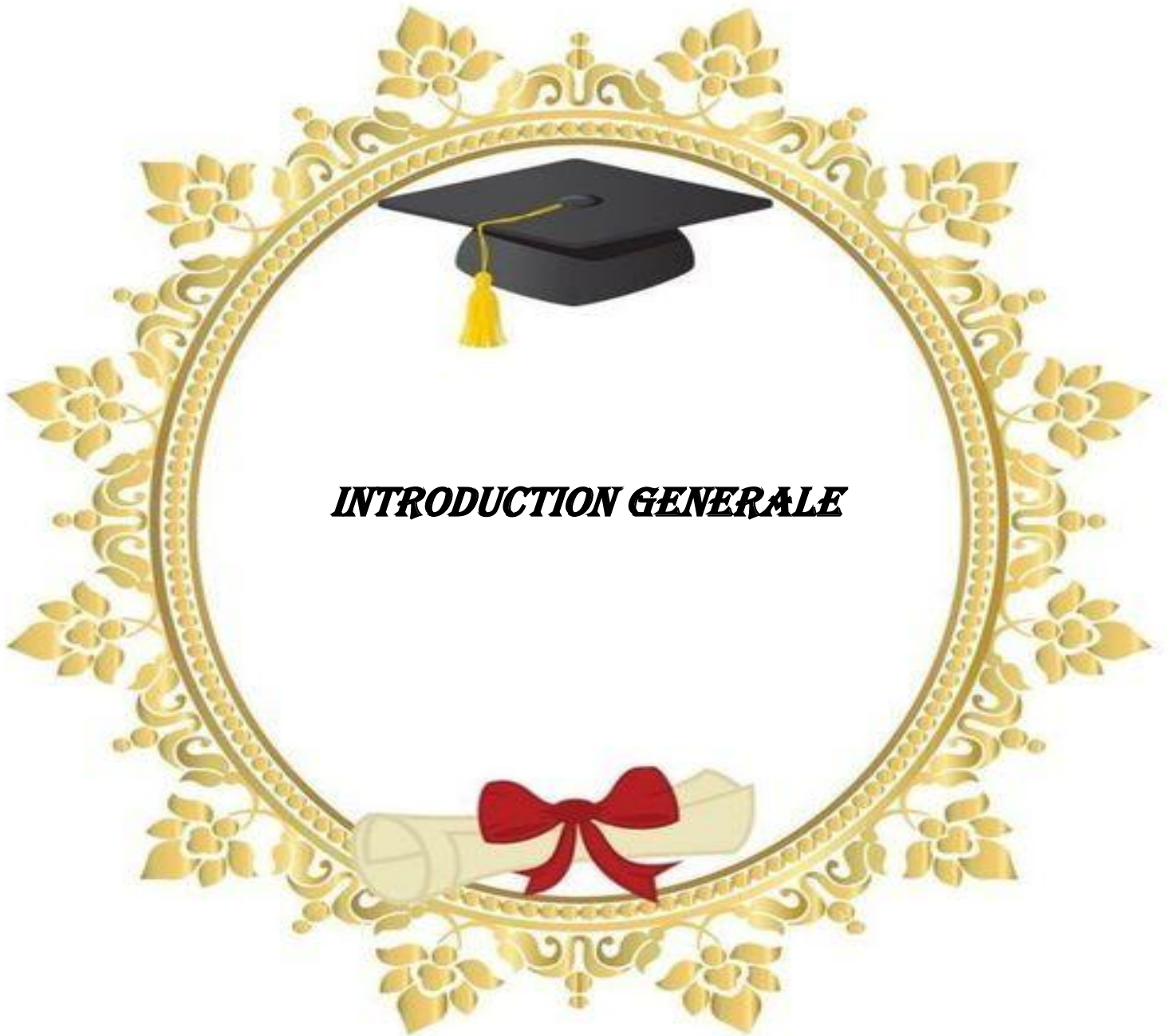
Chapitre III : Résultats et discussion

III.1. Appréciation de la qualité technologique des blés durs étudiés.....	55
III.1.1. Effet des caractéristiques physico-chimiques des blés durs.....	55
III.1.1.1. Humidités des grains et de la semoule	55
III.1.1.1.1. Humidité des grains	55
III.1.1.1.2. Humidité des semoules	56
III.1.1.2. Poids spécifique (PS).....	58
III.1.1.3. Poids de 1000 grain (PMG).....	59
III.1.1.4. Taux de moucheture	61
III.1.1.5. Taux de mitadinage	63
III.1.1.6. Le taux d'extraction	64
III.1.1.7. Taux de cendres.....	66
III.1.8. La teneur en protéines totales.....	67
III.1.2. Caractéristiques technologiques des semoules.....	69
III.1.2.1. Indices de coloration	69
III.1.2.1.1. Indice de jaune des semoules	69
III.1.2.1.2. Indice de brun des semoules.....	71
III.1.2.2. Test de sédimentation en milieu SDS	72
III.1.2.3. Le rapport SDS/Protéines au SDS index.....	73
III.1.2.4. Taux de gluten	74
III.1.2.4.1. Gluten humide	74
III.1.2.4.2. Teneur en gluten sec.....	75
III.1.2.4.3. Gluten index	76
III.1.2.4.4. Capacité d'hydratation	77

III.1.2.4.5. Test au mixographe	78
III.2. Appréciation de la qualité culinaire	79
III.2.1. Temps de cuisson	80
III.2.2. Gonflement des pâtes ou capacité de fixation d'eau	81
III.2.3. Pertes à la cuisson	81
III.2.4. Coloration des pâtes à l'état cru	82
III.2.5. Qualité des pâtes cuites	82
III.3 Caractérisation physico-chimique et technologique des variétés étudiées	83
III.3. L'analyse en composantes principales (ACP).....	84
Conclusion.....	91

Références bibliographiques

Annexes



INTRODUCTION GENERALE

Le blé dur (*Triticum durum* Desf.) constitue la base des alimentations humaines dans la plupart des pays du monde du fait qu'il apporte la plus grande part des protéines végétales et des calories (Godon, 1981). Il entre, également, dans la composition de nombreux produits alimentaires tels que le pain, les pâtes, la pâtisserie, les mouilles, le boulgour et le couscous.

L'importance du blé dur réside dans le fait qu'il participe d'une façon importante et diversifiée à l'alimentation humaine et animale (bétails), à la surface qu'il occupe et à l'emploi qu'il génère en tant que principale culture céréalière. Il occupe approximativement 15 à 20 millions d'hectares des surfaces utilisées d'une production près de 774 millions de tonnes dans le monde, dont plus de la moitié est consacrée autour du bassin méditerranéen et dans les pays du moyen orient (FAO stat, 2021). Les prévisions de L'Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture (FAO) indiquent que les plus grands producteurs de blé dur dans le monde sont l'union Européenne avec une moyenne de production de 8 millions de tonnes en 2020, suivie par la chine, l'inde, la Russie et les Etats-Unis avec une moyenne de production de 5,7 Mt, 5,2 Mt, 5 Mt et 4,8 Mt, respectivement. L'Algérie est classé troisième importateur avec une quantité importée de 3,2 Mt pour la campagne 2020/2021, après l'Italie et la Turquie qui ont importé 4 et 3,6 Mt, respectivement, durant la même campagne (FAO stat, 2021). Le rendement moyen de blé en Algérie a atteint 14,3 Qx /ha en 2021 alors qu'il était de 19,5 Qx/ha en 2018 (MADR, 2021). De ce fait, des solutions pour augmenter la production et le rendement de blé dur doivent être trouvées pour répondre aux besoins des habitants et limiter l'importation.

Le blé dur est caractérisé par la structure vitreuse de son amande qui lui confie l'aptitude à s'éclater en semoule. Cette dernière possède généralement une teneur élevée en protéines et en gluten par rapport à la farine, mais un volume de sédimentation faible, un temps de développement court de la pâte et une tolérance élevée au pétrissage (Bakhshi et Bains, 1987). Par ailleurs, la constitution majeure de la protéine de ces grains est à 80% du gluten (gliadines et de Gluténines). Ces constituants du gluten sont obtenus par fractionnement et reconstitution expérimentale du blé dur jouent un rôle fonctionnel dans la formation de la pâte (Miflin et al., 1983).

De plus, la force du gluten seule ne suffit pas pour déterminer une bonne qualité de cuisson (Dexter, et al., 1980) étant donné que d'autres facteurs sont connus pour leur influence sur les propriétés physiques des pâtes (quantité et qualité des protéines, état de surface, temps de cuisson, capacité d'absorption et de gonflement, fermeté) (Dexter et al., 1983).

L'augmentation de la consommation des pâtes alimentaires et du couscous, ces dernières années, montre l'intérêt de produire des variétés alliant à la fois de bonnes qualités agronomiques et technologiques. Il est reconnu que la qualité technologique d'un blé est un caractère très complexe qui dépend de plusieurs facteurs de nature génétique et agronomique, et qui est conditionnée par les habitudes alimentaires, par les spécificités des blés et par les technologies de transformation utilisées (Mebtouche, 1998).

A l'égard de l'importance de blé à travers le monde et l'augmentation de la consommation par rapport à la production, notamment en Algérie, l'importation des milliards de tonnes de blé par année pour nourrir les habitants est nécessaire, ce qui conduit à l'affaiblissement de l'économie nationale. A ce sujet l'amélioration des variétés a contribué d'une manière très significative dans l'obtention de variétés de blé dur à haut rendement et haute aptitude rhéologique conduisant à donner des pâtes alimentaires de qualité supérieure qui répond aux goûts des consommateurs.

Dans ce cadre, des travaux de recherche sur la création de nouvelles variétés qui répondent à la fois à la qualité et la quantité sont en cours de réalisation dans les sites de cultures de l'institut technique de grandes cultures d'EL-HARRACH (ITGC). Les nouvelles variétés améliorées sont sélectionnées en fonction de leur comportement dans l'environnement face aux conditions climatiques, en suite, des analyses sont réalisées sur les graines aux laboratoires de l'ITGC pour déterminer leur qualité technologique.

Dans cette option, notre travail a porté sur l'étude comparative de huit (08) nouvelles variétés de blé dur, comparées à une variété témoin SIMETO. La comparaison a porté sur la qualité physicochimique, technologique et culinaire des semoules et des pâtes alimentaires extraites à partir de ces variétés.

Après avoir présenté une synthèse sur le blé et sa production de semences puis décrit le matériel et la méthodologie, nous présenterons les résultats et la discussion.



CHAPITRE I : GÉNÉRALITÉ SUR LE BLÉ

I.1 Historique du blé

Depuis la naissance de l'agriculture, le blé est à la base de la nourriture de l'homme (Ruel, 2006). C'est une espèce connue depuis la plus haute antiquité, dont elle constitue la base alimentaire des populations du globe (Yves et Buyer, 2000).

Selon Croston et Williams (1981) Les premières traces du blé sont apparues il y'a 7000 a10000 ans aux sud-est de la Turquie, dans le croissant fertile, zone couvrante entre autres, la Palestine, la Syrie, l'Irak, une grande partie de l'Iran et des régions de sud-est de la Turquie.

Le blé en effet considérée comme la base des grandes civilisations, ayant un rôle central dans le développement des sociétés dès l'origine des civilisations antique, étant l'une des premières cultures agricoles à fournir un aliment de base régulier. C'est ainsi que les civilisations Européennes et du Moyen-Orient se sont constituées au tour du blé, celle de l'extrême orient autour du riz, celle des peuples amérindiens autour du maïs et celle de l'Afrique noire autour du mil (Herizi et *al.*, 2020).

C'est en l'an 300 ans avant J C, que les premiers procédés de panification ont été élaborés par les Egyptiens qui préparaient déjà les premières galettes à base de blé. L'homme sait alors produire sa propre nourriture, en même temps celui-ci acquiert son autosuffisance alimentaire et en ces temps-là, apparaissent les premiers échanges commerciaux. Par la suite, les techniques de panifications se sont améliorées grâce au Hébreux, Grecs et enfin Romains qui en répandent l'usage à travers l'Europe et devenue, un des constituant essentiel de l'alimentation humaine (Yves et Buyer, 2000).

I.2 Origine génétique et classification du blé

I.2.1 Origine génétique du blé

Le blé dur également connu sous le nom scientifique *Triticum durum*, à une origine génétique complexe résultant d'un croisement entre deux espèces diploïdes ancestrales distinctes (figure 1). L'une de ces espèces est le *Triticum monococcum*, caractérisé par ses 14 chromosomes, tandis que l'autre est une graminée sauvage appelée *Aegilops sépaloïdes*, également avec 14 chromosomes. Le blé dur lui-même possède 28 chromosomes, ce qui indique qu'il est tétraploïde, avec une forme chromosomique de $2n=4x=28$ (Mackey, 1968, Huang, et *al.*, 2003).

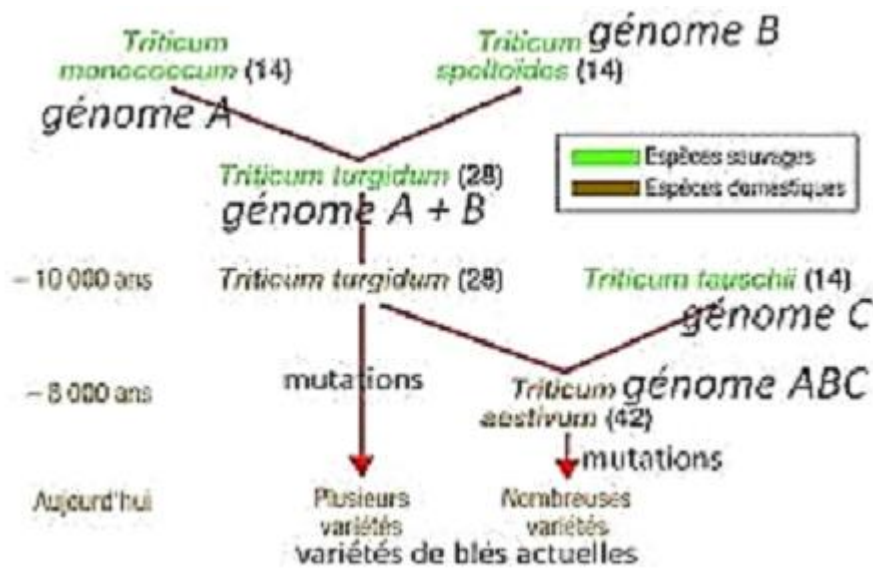


Figure 1. Origine génétique du blé (Voisin, 2012).

I.2.2 Classification du blé dur

Le blé est une monocotylédone qui appartient au genre *Triticum* de la famille des Graminées. C'est une céréale dont le grain est un fruit sec et indéhiscent, constitué d'une graine et de téguments. Les deux espèces les plus cultivées sont le blé tendre (*Triticum aestivum*) et le blé dur (*Triticum durum*) mais il existe de nombreuses autres espèces de *Triticum* qui se différencient par leur degré de ploïdie (blés diploïdes : génome AA ; blés tétraploïdes : génome AA et BB ; blés hexaploïdie : génomes AA, BB et DD) et par leur nombre de chromosomes (14, 28, ou 42). Le blé dur ne contient que les deux génomes AA et BB et 28 chromosomes. Le croisement naturel entre *T. monococcum* et *Aegilops* (porteur du génome B) a permis l'apparition d'un blé dur sauvage de type AA BB (*Triticum turgidum ssp. Dicoccoides*) qui a ensuite progressivement évolué vers *T. turgidum ssp. Dicoccum* puis vers *T. durum* (blé dur cultivé) (Feillet, 2000).

D'après la classification de CRONQUIST (1981) et APG (2016), le blé dur est une monocotylédone classée comme suivant (tableau 1).

Tableau 1. Classification du blé dur selon CRONQUIST (1981) et APG III (2016).

	Classification de Cranquist (1981)	Classification de APG (2016)
Règne	Plantae	<i>plantae</i>
Sous-Règne	<i>Tracheobionta</i>	
Division	<i>Magnoliophyta</i>	<i>Magnoliophyta</i>
Classe	<i>Liliopsida</i>	liliopsida
Sous –classe	<i>Commelinidae</i>	
Ordre	<i>Cyperales</i>	<i>Poales</i>
Famille	<i>Poaceae</i>	<i>Poaceae</i>
Sous-famille	<i>Pooideae</i>	<i>Pooideae</i>
Tribu	<i>Triticeae</i>	
Genre	<i>Triticum</i> L., 1753	<i>Triticum</i>
Espèce		<i>Triticum durum</i> Desf.

I.3 Importance et production du blé dur

I.3.1 Dans le monde

En 2021, les surfaces en blé dur marquent une progression significative par rapport aux autres précédentes campagnes. Elles ont augmenté de 291 400ha, soit 16% de plus qu'en 2020 mais restent encore très inférieures à la moyenne quinquennale de 325 000ha (Arnaud,2021). L'Organisation des Nations Unies pour l'Alimentation et l'Agriculture (FAO) indique que la production du blé dur est de 774 millions de tonnes (Mt) en 2021 (plus de 40Mt par rapport à 2020), dans une superficie totale comprise entre 15 et 20 millions d'hectares dont plus de la moitié est concentrée autour du Bassin méditerranéen et dans les pays du Moyen Orient (FAO stat, 2021).

Les plus grands producteurs de blé dur dans le monde sont l'Union Européenne avec une moyenne de production de 8 millions de tonnes (2020), suivi par la Chine, l'Inde, la Russie et les Etats-Unis avec une moyenne de production de 5,7 Mt, 5,2 Mt, 5 Mt et 4,8 Mt, respectivement (Tableau 1). Cependant, sur le marché international l'Italie est le premier importateur de blé dur avec 4 Mt annuellement, suivi par la Turquie (3,6 Mt) et les pays de Maghreb (Algérie : 3,2 Mt ; le Maroc : 1,3 Mt et la Tunisie : 1,2 Mt) (Tableau 2).

Tableau 2. Principaux producteurs et importateurs de blé dur dans le monde (FAOSTAT, 2021)

PAYS	Production en Mt	Pays	Importation en Mt
Union Européenne	8	Italie	4
Chine	5,7	Turquie	3,6
Inde	5,2	Algérie	3,2
Russie	5	Maroc	1,3
Etats-Unis	4,8	Tunisie	1,2

Selon les prévisions de la FAO, la production mondiale du blé en 2022/2023 devrait atteindre un niveau de record de 784 millions de tonnes, en hausse de 0,6 pour cent par rapport à la précédente campagne (FAO stat, 2022).

I.3.2 En Algérie

Les productions céréalières occupent une place stratégique dans le système alimentaire et dans l'économie nationale. La céréaliculture occupe à l'échelle mondiale une place primordiale dans les programmes de recherches agricoles, une priorité que la situation de l'Algérie exige, en particulier pour le blé dur et l'orge. Ces cultures constituent près de 80% de la nutrition humaine et animale. Elles représentent socio économiquement parlant, les cultures stratégiques du pays (Smadhi et *al.*, 2015). Le montant de la production cumulée de la campagne 2019/2020 a été estimé à 20,2 millions de quintaux de blé dur (MADR, 2020).

La répartition générale des terres est présentée dans le tableau 3, selon la nomenclature utilisée par la FAO pour le recensement mondial de l'agriculture. La surface totale de l'Algérie qui est de l'ordre de 238 millions d'hectares, dont la surface agricole totale est de l'ordre de 44,00 millions d'ha soit 18,5% de la surface territoriale. La surface agricole utile (S.A.U) est de l'ordre de 8,56 millions d'ha, soit 19,5% de la surface agricole totale et elle se répartit comme suit :

Selon l'office national des statistiques (2021/22), les productions céréalières (toutes les espèces confondues) occupent une place stratégique dans le système alimentaire et dans l'économie nationale, ont fortement baissé durant la campagne 2020/2021 (-36,6%) par rapport à 2019/2020 (MADR, 2021).

En effet après avoir enregistré un rendement de 19,5Qx/ha en 2017/2018, la campagne 2020/2021 à marquer une baisse pour atteindre 14,3 Qx/ha (MADR, 2021).

Tableau 3. Répartition de la superficie, des rendements, de la production et de taux d'accroissement 2018/2019. (MADR, 2020).

	2018			2019			2018/2019		
	Sup.	Prod.	Rdt	Sup.	Prod.	Rdt			
	Ha	Qx	Qx/ha	ha	Qx	Qx/ha	Sup.	Prod.	18/19
Céréale d'hiver	3106102	60568040	19,5	3185647	56259902	17,7	3	-7	-9
Blé dur	1492546	31780207	21,3	1579080	32087678	20,3	6	1	-5
Blé tendre	455856	8031984	17,6	395907	6681084	16,9	-13	-17	-4
Orge	1080250	19573271	18,1	1133005	16477463	14,5	5	-16	-20
Avoine	77375	1180178	15,3	77626	1013052	13,1	0	-14	-14
Triticale	75	2400	32,0	30	626	20,9	0	0	0

I.4 Description générale du blé dur

I.4.1 Description morphologique

Le blé est une plante herbacée annuelle qui produit le grain, c'est une graminée de hauteur moyenne pouvant atteindre jusqu'à 1.5m selon les variétés (Bozzini, 1988). Qui sont caractérisées par des critères morphologiques particuliers (figure 2).

Le blé est composé de deux système complexes ; l'un est incorporé dans le système racinaire fibreux et fasciculé, constitué exclusivement de nombreuses racines adventives qui forment un chevelu important. Il prend naissance au niveau des nœuds de la base des tiges (le collet) et il est composé de rhizomes et de stolons. L'autre et le système aérien est formé d'un certain nombre d'unités biologiques, les talles, les feuilles et les gaines (figure 2) (Clarke *et al.*, 2002). Le talle est formé d'une tige feuillée ou chaume portant à son extrémité une inflorescence (Clarke *et al.*, 2002). Les feuilles sont simples, allongées, alternées et à nervures parallèles alternes ou distiques (disposées sur deux rangs le long de la tige), elles sont généralement sessiles, s'attachent à la tige par une gaine.

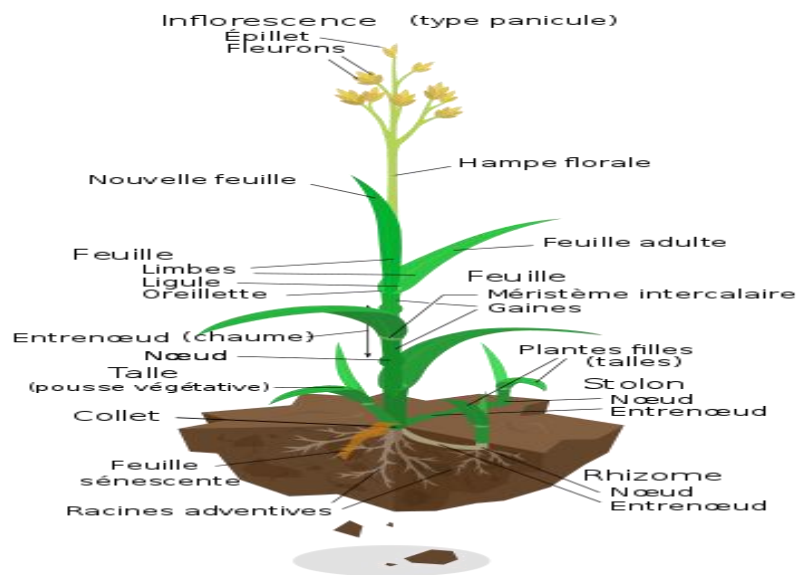


Figure 2. Caractéristiques morphologiques de blé dur. (Sadouki et *al.*, 2018)

I.4.2 Morphologie et structure histologique du grain

Selon Jacquemin (2012), Le grain de blé (figure 3) est de forme ovoïde plus ou moins allongée, son examen révèle :

- Une face dorsale plus ou moins bombée.
- Une face ventrale, comportant un sillon profond.
- A sa partie supérieure, de courts poils forment la brosse.
- A sa partie inférieure, le germe est visible sur la face dorsale.
- La couleur des blés varie du roux au blanc, en rapport avec le pays d'origine, le sol, la culture, et le climat.

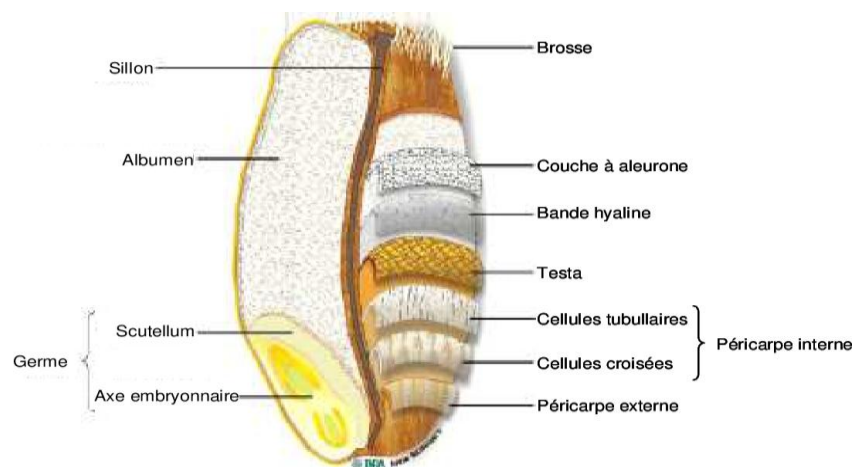


Figure 3. Morphologie et histologie du grain de blé dur (Surget et Barron, 2005).

I.4.3 Composition histologique du grain

Un grain de blé est formé de trois régions (figure 4) :

- **Albumen ou l'endosperme** : Il est appelé aussi tissu nourricier car il constitue la réserve de nourriture du germe essentiellement composé d'amidon (Gwimer et *al.*, 1996). Il représente 80 à 85% du poids du grain et sa partie inférieure est délimitée par le germe (Fredot, 2012).
- **Enveloppes ou péricarpe du grain** : C'est la pellicule cellulosique qui protège le grain pendant sa formation dans l'épi, pendant la levée dans le sol ainsi qu'au cours de sa conservation ; il représente 13 à 15% du poids du grain (Berhaut et *al.*, 2003).
- **Germe ou embryon** : Il donne naissance à une nouvelle plante. Il est particulièrement riche en huile et en albumine (Gwimer et *al.*, 1996). Il représente 3% du poids du grain, il est riche en vitamines et en minéraux (Fredot, 2012).

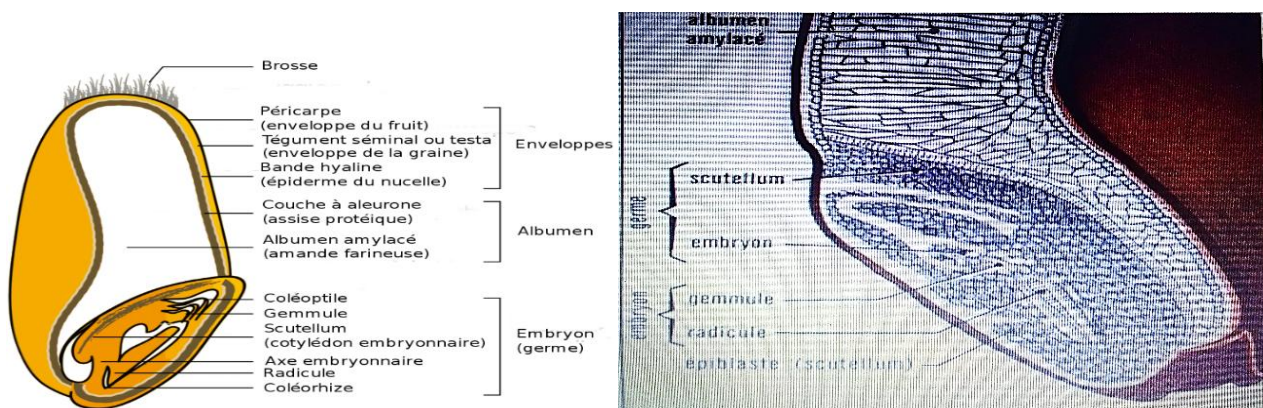


Figure 4. L'anatomie du grain de blé (Claire et *al.*, 2008 ; Alain Gallien, 2008).

I.4.4 Appareil reproducteur

L'inflorescence du blé dur (figure 5) est un épi muni d'un rachis portant des épillet séparés par de courts entre nœuds. Un épillet regroupe deux à cinq fleurs, souvent trois fleurs à l'intérieur de deux glumes. Chaque fleur est dépourvue de pétales, et est entourée de deux glumelles (pièces écailleuses non colorées). Elle contient trois étamines qui ont la forme en x (pièces mâles), un ovaire surmonté de deux styles plumeux dichotomique (les pièces femelles).

La fleur du blé est dite cléistogame, c'est-à-dire que, le plus souvent, le pollen est relâché avant que les étamines ne sortent de la fleur. Il s'attache alors aux stigmates, où peut se produire la fécondation (Prats, 1966).

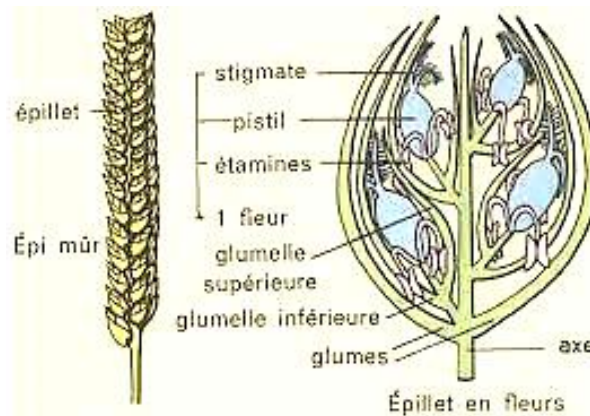


Figure 5. Schéma de la partie reproductrice du blé (Alain Gallien, 2008).

I.5 Composition biochimique de la graine

L'eau : Selon Okandza, (2000) le grain de blé à la récolte peut avoir une teneur en eau comprise entre 15% et plus de 21% selon le climat des zones de cultures, la moyenne courante est de 13 à 14%.

Les glucides : sont des substances particulièrement énergétiques, sont nettement majoritaires (plus de 60% de la matière sèche) ils sont principalement constitués de l'amidon, rassemblés sous formes de granules, la taille de ces granules sphériques ou lenticulaires varie de 2 à 40 μm (Godon et Willm, 1998).

L'amidon : principal constituant du grain de blé et de l'albumen amylicé (67-68% et 78-82% respectivement), l'amidon se présente sous forme de granules dont le diamètre peut varier de 10 à 40 μm ; distinguant ainsi les gros granules : amidon A (concentrés au cœur de l'amande) des petits granules : amidon B (concentrés à la périphérie) (Jeantet et al., 2007)

Composition moyenne pour 100 g de blé :

- 67 g de glucides (amidon)
- 13,5 g d'eau
- 13 g de protéines
- 3 g de fibres
- 2,5 g de lipides

- 0,40 mg de vitamine B1
- 0,20 mg de vitamine B2
- 1,6 à 2,1 g de minéraux

I.6 Exigences du blé en éléments minéraux essentiels

Pour croître, le blé a besoin d'éléments essentiels notamment l'azote, le phosphore et le potassium. La fertilisation minérale, essentiellement la fertilisation, azotée est l'un des moyens privilégiés d'intervention physique dans une culture. Elle permet l'obtention de rendements élevés et d'une bonne qualité technologique (Abdellaoui, 2017).

I.6.1 La fertilisation azotée

L'azote est un constituant très important des matières organiques, il est indispensable à la croissance et au développement des plantes et il est à la base de la synthèse des acides aminés et des acides nucléiques (Pousset, 2000). L'azote est un élément mobile qui s'adresse à la plante plutôt qu'au sol (Gauthier, 1991).

Les besoins en azote de la culture lors de gonflement et à la floraison sont en effet extrêmement importants ; c'est à ce moment que la matière végétale augmente le plus vite et que se détermine le nombre d'épis (Grignac, 1984). Pendant la maturation, la fourniture d'azote minéral du sol ne peut couvrir les besoins de la culture (Masle-meunard, 1981). A la récolte, plus de 75% de l'azote total de la plante se trouve dans les grains.

Les plantes de blé utilisant la majorité de leur azote avant la phase de croissance initiale. Les carences en azote au cours de cette période végétative peuvent entraîner des plantes de blés moins développées avec peu de talles (et tête) par plante ce qui réduit le rendement des grains (Knowles., Micjael et *al.*, 2018). D'après Belaid (1986), les besoins de l'azote sont particulièrement importants pour la multiplication cellulaire et le développement des organes végétatifs de la plante, l'azote entre dans la synthèse des glucides, et la constitution des réserves azotées de la plante. D'autre part, L'azote est utilisé dans la synthèse des acides aminés et nucléiques dans la formation de protéines, dans la formation de la chlorophylle, d'enzymes et de vitamines (Christian et *al.*, 2005).

I.6.2 Rapport phospho-potassique

La conduite de la fertilisation est compte tenue de l'enjeu qualité et rendement qui en découle, selon un classement des cultures en fonction de leur exigence en éléments minéraux (Lesouder, 2017), le blé dur figure dans les cultures moyennement exigeantes en phosphore, alors que son exigence en potassium est faible (Abdelliche et Ferkhi, 2018). En effet une carence en potassium se montre clairement par une couleur vert foncé et des troubles d'évaporation dus à un fonctionnement défectueux de la régulation somatique sur les céréales (Bamouh, 2007).

I.7 Le cycle végétatif

I.7.1 La germination et la levée

La germination de la graine se caractérise par l'émergence du coléorhize donnant naissance à des racines séminales et la date de la levée est définie par l'apparition de la première feuille qui traverse le coléoptile, gaine rigide et protectrice enveloppant la première feuille. La levée se fait réellement dès la sortie des feuilles à la surface du sol (Soltner, 2005). Au sein d'un peuplement, la levée est atteinte lorsque la majorité des lignes de semis est visible (Gate, 1995). Les principaux facteurs édaphiques qui interviennent dans la réalisation de cette phase sont la chaleur, l'aération et l'humidité (Eliard, 1979).

I.7.2 Le tallage

Le début du tallage est marqué par l'apparition de l'extrémité de la première feuille du talle latérale primaire, puis d'autres talles naissent successivement à l'aisselle de la 2^{ème} et la 3^{ème} feuille de la tige centrale, l'ensemble restant court noué, formant un plateau de tallage situé juste au niveau du sol (Belaid, 1986 ; Gate, 1995). Le fin tallage est celle de la fin de la période végétative, elle marque le début de la phase reproductive, conditionnée par la photopériode et la vernalisation qui autorisent l'élongation des entre-nœuds (Gate, 1995).

I.7.3 La phase épiaison-floraison

La phase épiaison-floraison, est marquée par la méiose pollinique et l'éclatement de la gaine avec l'émergence de l'épi. C'est au cours de cette phase que s'achève la formation des organes floraux (l'anthèse) et s'effectue la fécondation. Cette phase est atteinte quand 50% des épis sont à moitié sortis de la gaine de la dernière feuille (Gate, 1995).

I.7.4 La montaison-Gonflement

Est caractérisée par l’allongement des entre-nœuds et la différenciation des pièces florales. Pendant cette phase de croissance active, les besoins en éléments nutritifs notamment en azote sont accrus (Clement-grancourt et Prats, 1971). La montaison s’achève à la fin de l’émission de la dernière feuille et des manifestations du gonflement que provoquent les épis dans la gaine.

I.7.5 Le remplissage et la maturation du grain

Le remplissage et la maturation du grain est la dernière phase du cycle végétatif. Elle correspond à l’élaboration de la dernière composante constitutive du rendement qui est le poids du grain, suite à la migration des substances glucidiques produites par la feuille et stockées dans le pédoncule de l’épi (Gate, 2003). Les fortes températures au cours de cette période provoquent l’arrêt de la migration des réserves des feuilles et de la tige vers le grain (échaudage du grain). Puis, elles poursuivent le dessèchement du grain pour atteindre son poids sec final (Wardlow, 2002).

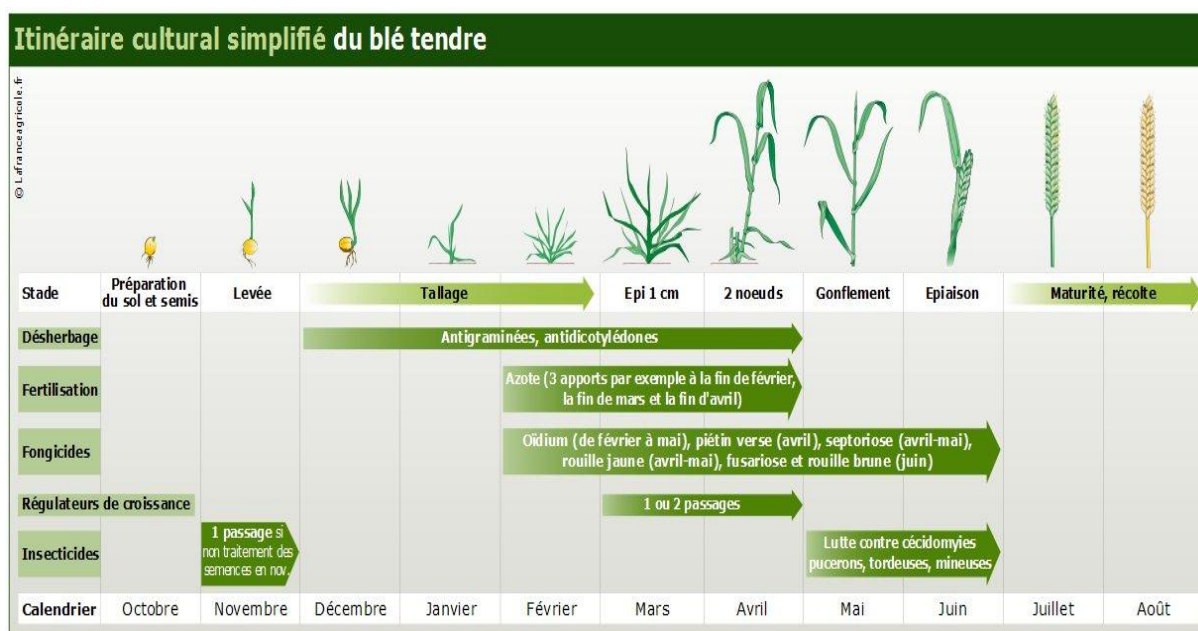


Figure 6. Stade repères du cycle de développement et itinéraire technique du blé (Spotiform, 2023).

I.8 L'amélioration génétique

I.8.1 Définition

L'amélioration génétique des plantes se traduit par la création de populations végétales améliorées appelées variétés (Gallais, 2015). Consiste à crée de nouvelles variétés à partir des variétés existantes (diversité génétique). Ce transfert de gène se fait par croisements dirigés et sélection des meilleurs plantes issues de ces croisements (ceci nécessite la connaissance des modes de reproduction) (Feillet, 2000).

I.8.2 Objectifs de l'amélioration du blé

Toutes les nouvelles variétés de blé doivent égaler ou dépasser les normes de qualité, de comportement agronomique et de résistance aux maladies avant d'être considérées pour l'enregistrement (CRC, 2002). Ce sont là, les trois grands objectifs majeurs de la sélection.

Pour le facteur rendement nous recherchons (Mekliche, 2009) :

- **Productivité** : c'est produire des rendements suffisants pour nourrir la population et subvenir aux besoins de l'humanité.
- **Rusticité** : Assurant la régularité des rendements, comprenant. L'adaptation au milieu physique : le froid, la sécheresse, la pluie, la précocité et la tolérance au sel, etc. L'adaptation au milieu biologique : la création de variétés génétiquement résistantes aux parasites et agents pathogènes.
- **Qualité** : En ce qui concerne les blés durs, la culture est destinée à la fabrication des semoules et des pâtes alimentaires. La semoulerie recherche des lots ayant des rendements élevés en semoule (Dulcir, 1978).

I.8.3 Méthode de sélection classique

La sélection végétale (ou culture sélective) désigne l'ensemble des démarches conduites de manière contrôlée afin d'améliorer génétiquement les végétaux, tant qualitativement que quantitativement. La méthode classique est celle des croisements telle que l'appliqua durant de longues années Johann Gregor Mendel (1822-1884), moine et botaniste morave, dans ses recherches sur les pois ; il mit en évidence que les caractères héréditaires se transmettent de génération en génération selon une régularité bien déterminée (Margrit, 2011).

I.8.3.1 Critères de la sélection classique

La sélection pour l’agriculture biologique nécessite de hiérarchiser et pondérer des critères de sélection nouveaux qu’en sélection classique. Elle nécessite de gérer des contradictions, comme par exemple le choix d’augmenter la hauteur des plantes pour contenir les adventices en mesurant bien le risque lié à un couvert haut et dense potentiellement plus sensible à la verse et aux maladies du feuillage (Bernard *et al*, 2012).

I.8.4 Processus de sélection au niveau de l’ITGC

L’obtention du matériel végétal performant obéit à un processus de sélection mis en œuvre à travers les neuf stations de l’ITGC (figure 7) selon le processus suivant :

Le but de la sélection est d’enrichir la gamme variétale à travers la mise au point de variétés performantes et adaptées aux différentes zones agro écologiques du Nord de l’Algérie.

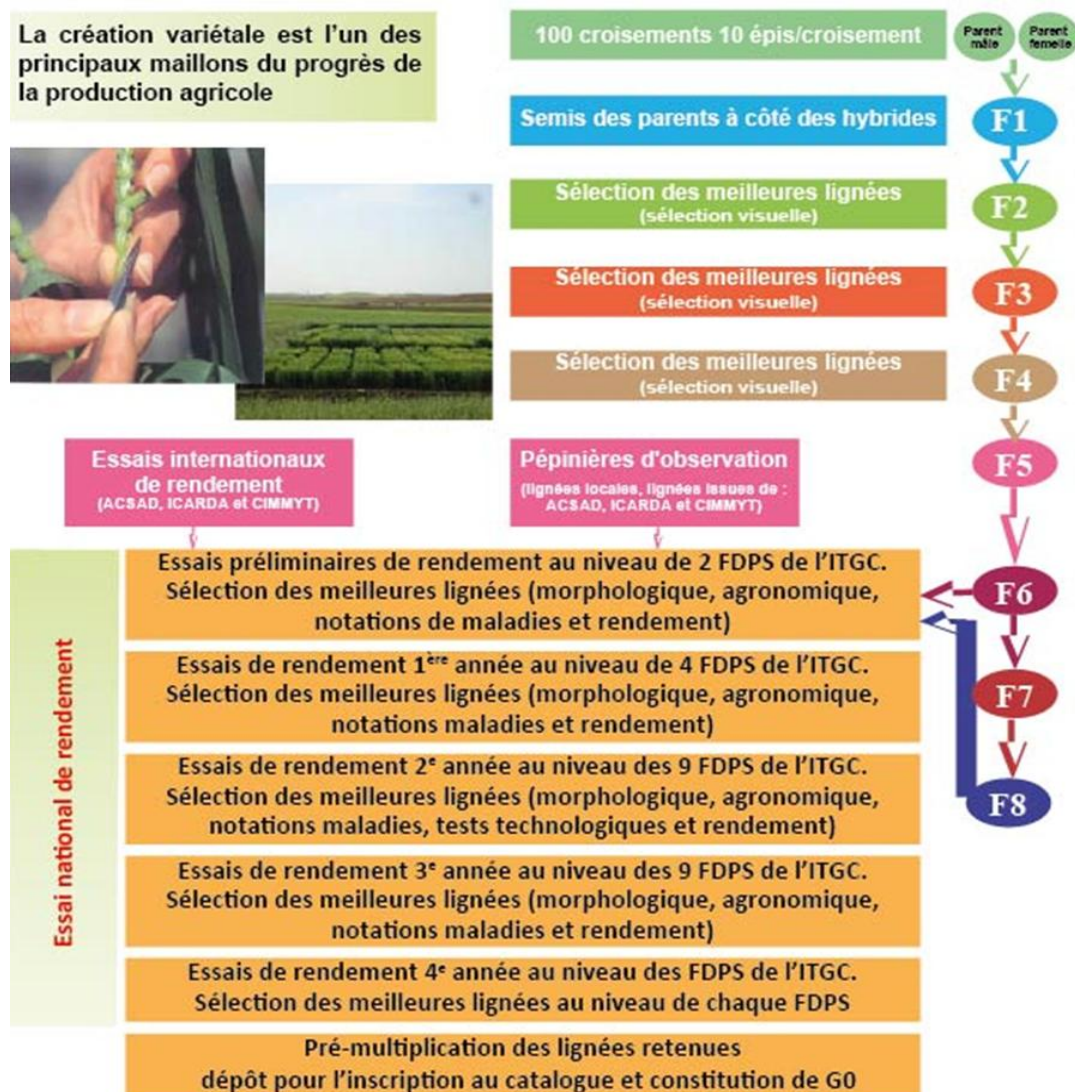


Figure 7. Schéma de sélection de blé dur en Algérie (l’ITGC, 2023).

I.8.5 Processus d'homologation d'une variété

Les variétés sélectionnées par le sélectionneur au terme du processus de sélection feront l'objet de dossier d'homologation auprès du Centre National de Contrôle et de Certification de semences et Plants (CNCC) pour leur inscription au catalogue officiel. Le dépôt de dossiers des variétés pour essais d'homologation menés sur 03 années auprès du CNCC : Fiche technique de la variété plus semences plus épis.

I.9 Transformation du blé dur

Il s'agit de transformer le grain de blé en semoule pour fabriquer une pâte alimentaire.

I.9.1 Première transformation : transformation des grains de blé en semoule

I.9.1.1 Le nettoyage

C'est une étape très importante en semoulerie qui doit être réalisée avec efficacité (Abecassis, 1987). Les grains de blé doivent être débarrassés de toutes impureté avant d'être triturés (grains étranges, graines d'autre céréales, pailles, pierres, pièces métalliques, déchets d'animaux ; rongeurs, insectes). Il est également souhaitable d'éliminer les blés mal venus (grains échaudés, ergotes et fusariose). Le nettoyage du blé doit être effectué avec un soin tout particulier sous peine de voir apparaître des piqures colores dans les semoules, très préjudiciables à la qualité des pâtes alimentaires (Feillet, 2000).

I.9.1.2 Conditionnement

Après nettoyage, le blé doit être conditionné de manière à faciliter la séparation du son et de l'amande et le broyage de celle-ci. Un blé humide sera difficile à travailler, notamment à bluter ; un blé trop sec se prêtera mal à la séparation des enveloppes (réduite en fines partiaires) du cœur de l'albumen (Feillet, 2000). L'humidification se fait de préférence en trois étapes avec des temps de repos courts (Jintet et *al.*, 2007).

I.9.1.3 La mouture

La mouture, est l'opération centrale de la transformation des blés en semoules, repose sur la mise en œuvre de deux opérations unitaires : une opération de fragmentation, dissociation des grains et une opération de séparation des constituants (Feillet, 2000). Elle a

pour but d'isoler l'albumen amylicé exempt de toute contamination par les parties périphériques du grain (Abecassis, 1991).

Les différents produits de la mouture

Selon Abecassis et Chaurand (1997), lors de la mouture, le semoulier isole la semoule généralement à un taux d'extraction allant de 70 à 75%, des farines ou gruaux D (5 à 10%) et des issues (18 à 22%) :

- **La semoule** : La semoule est constituée de fragments d'amande dont la taille des particules est supérieure à 150 μ m ;
- **La farine de blé dur (SSSF ou gruaux D)** : est considérée comme un sous-produit de la mouture, se caractérise par une granulométrie de 180 μ m.
- **Le son** : il s'agit des morceaux d'enveloppes de taille variable allant de 0.5 à 1 μ m (Feillet, 2000).

I.9.2 Deuxième transformation : La pastification

I.9.2.1 Définition

Les pâtes alimentaires peuvent être décrites comme des produits prêts à l'emploi culinaire, préparés par pétrissage sans fermentation de semoule de blé dur (Feillet, 2000) additionnée d'eau potable et éventuellement d'œufs (140 à 350g d'œufs frais par kg de semoule), pétrie et transformée ensuite en de multiples formes (Bourges et *al.*, 2009).

I.9.2.2 Classification des pâtes alimentaires

Selon Boudreau et Menard (1992), les pâtes alimentaires se présentent sous des formes très variées. Cependant, on peut les classer en deux catégories bien distinctes suivant les machines dont elles sont issues : les pâtes extrudées et les pâtes laminées.

I.9.2.2.1 Les pâtes extrudées : Elles sont des pâtes préparées à l'aide de presses munies de filières qui forment les pâtes longues dont la longueur en état non cuit est d'environ 25 cm comme les macaronis et les spaghettis ainsi que les pâtes coupées ou courtes dont la longueur maximale est de 6 à 8 cm comme les bagues, les coudes divers et certaines pâtes à potage.

I.9.2.2.2 Les pâtes laminées : Quant à elles sont préalablement fabriquées par des presses munies d'une filière à fente ou par des malaxeurs spéciaux capables de produire des pâtes sous forme de feuilles. Entrent dans cette catégorie des pâtes à potage, des pâtes en ruban, des pâtes à farcir et autres pâtes.

I.9.2.3 Constituants des pâtes alimentaires

I.9.2.3.1 Semoule

La semoule est reconnue comme substrat principal pour la fabrication des pâtes alimentaires en raison de sa teneur en gluten qui confère aux pâtes (couscous, pâtes alimentaires, ...) des propriétés technologiques et rhéologiques spécifiques, de sa dureté, sa couleur unique, sa saveur et sa qualité de cuisson (Godon et *al.*, 1991 ; Feillet et *al.*, 1996 ; Petitot, 2009). Après sa conversion en pâte, la semoule donne des produits avec de bonne qualité culinaire (Sissons, 2008). L'amidon (74-76 %) et les protéines (12-15%) sont des constituants majeurs de la semoule de blé dur (Duranti, 2006). La qualité technologique d'une semoule pour la fabrication des pâtes alimentaires est définie par son aptitude à donner des produits finis dont l'aspect et la qualité culinaire répondent aux désirs des consommateurs (Abecassis, 1991).

La classification des semoules

Il existe plusieurs catégories de semoules de blé dur, classées en fonction de leur grosseur. En Algérie, les différentes catégories de semoules sont (Madani, 2009) :

- **Semoules grosses (SG) :** Ses particules est de dimension comprise entre 900 μ m et 1100 μ m, destinées aux usages domestiques.
- **Semoules grosses moyennes (SGM) :** la taille des particules est comprise entre 550 μ m à 900 μ m, destinées à la fabrication de la galette et du couscous.
- **Semoules sâssées super extra (SSSE) :** Sa dimension est 190 μ m à 550 μ m, destinées à la fabrication des pâtes alimentaires.
- **Semoules sâssées super fines (SSSF) :** Sa dimension est comprise entre 140 μ m et 190 μ m, ces semoules proviennent des couches périphériques du grain.

I.9.2.3.2 L'eau

Selon de nombreuses observations faites par les industriels, il ressort que la qualité de l'eau utilisée au cours de l'embâchage peut exercer une influence non négligeable sur l'aspect et le comportement des produits finis au cours de la cuisson. Des eaux de faible dureté hydrotimétrique sont généralement recommandées (Feillet, 2000). De plus, l'eau doit être tièdes et de température uniforme tout au long du malaxage. La température de l'eau ne doit jamais dépasser 35°C (Benchikh et *al.*, 2016).

I.9.2.4. Le rôle des constituants de la semoule en pastification

I.9.2.4.1 Les protéines

C'est à Osborne (1907) que l'on doit la première classification des protéines. Il les sépare en deux grands groupes suivant leur solubilité dans l'eau (linder et Lorient, 1994), il s'agit de :

- ❖ **Protéines solubles** : représentent 15 à 20% des protéines totales :
 - Albumen soluble dans l'eau
 - Globulines solubles dans les solutions salines
- ❖ **Protéine de réserves** : représentent 80 à 90% des protéines totales (Hornandez et *al.*, 2004).
 - Gliadines solubles dans les solutions alcooliques.
 - Gluténines solubles dans les solutions diluées d'acides ou de bases, ainsi que dans les détergents.

Le contenu protéique du blé paraît expliquer 30-40% de la variabilité dans la qualité culinaires (Domidoux et Feillet, 1978). Les protéines de la semoule de blé dur interviennent à la fois dans le développement des protéines viscoélastiques des pâtes cuites et dans leurs états de surface (collant) (Mastuo et *al.*, 1982 ; Feillet, 1984).

La teneur en protéines des semoules exerce une influence considérable sur les propriétés viscoélastiques des pâtes et sur la qualité culinaire du produit fini (Sissons, 2008). Les études de Dexter et Mastuo (1978) ont montré qu'il y a une forte corrélation entre le rapport des Gluténines / Gliadines et la force de la pâte.

La teneur en protéine affecte considérablement la qualité culinaire des pâtes produites comme l'indique le tableau 4. Dans le cas de la cuisson optimale, plus le taux de protéine est élevé moins sera le pourcentage de la perte à la cuisson optimale et mieux sera la fermeté des pâtes est bonne, tandis que le contraire est pour le cas de la surcuisson, plus le taux de protéines est élevé plus le pourcentage des pertes à la cuisson est élevé, plus sera la fermeté des pâtes est mauvaise.

Tableau 4. Effet de la teneur en protéines sur la qualité des pâtes à base de blé dur (pertes à la cuisson, fermeté) (Edwards et *al.*, 1993).

Taux moyen des protéines de trois pâtes de qualité différentes avant cuisson (%)	10.3	13.5	17.6
Cuisson optimale			
Pertes à la cuisson (%)	9.4	8.1	7.1
Fermeté (Kg / mm)	1.10	1.44	2.02
Surcuisson			
Pertes à la cuisson (%)	15.5	13.7	13.3
Fermeté (Kg /mm)	0.83	0.97	1.32

I.9.2.4.2 Le gluten

Le gluten est un complexe protéique viscoélastique que l'on peut obtenir par lixiviation sous un mince filet d'eau, d'un pâton forme de semoule ou de farine de blé et d'eau. Le gluten est constitué de 75 à 80% de protéines, 5 à 7% de lipides, 5 à 10% d'amidon, de 5 à 8% d'eau et des matières minérales en proportion plus faible (Linden et Lorient, 1994).

I.9.2.4.3 glucides et polysides

L'amidon et ses composants interviennent de différentes manières au cours de la fabrication des pâtes :

- C'est un fixateur d'eau : On admet que l'amidon absorbe environ 45% de l'eau ajoutée à la semoule. Par son pouvoir fixateur d'eau, variable selon le degré d'endommagement des granules et sa capacité à former des liaisons non covalentes avec les protéines, l'amidon contribue de manière active à la formation de la pâte (Feillet, 2000).

- Les carbohydrates solubles comme l'amylose exsudé à partir des granules d'amidon au cours de la cuisson peut être responsable de la viscosité des pâtes (Grant et *al.*, 1993). Également la teneur en amylose influence les propriétés d'élasticité et extensibilité de la pâte qui traduit les modifications et le comportement à la cuisson : avec l'augmentation de niveau d'amylose, la pâte a des grandeurs d'extensibilité et d'élasticité réduits (Hung et *al.*, 2005) et donc une tendance à l'augmentation de la fermeté de la pâte. Ceux-ci sont expliqués par l'effet de forte liaison et gonflement des granules en fonction de la teneur en amylose et par conséquent une grande résistance à la rupture et à la déformation d'une part. d'autre part, une réduction des pourcentages d'absorption d'eau et donc de faibles pertes à la cuisson (Soh et *al.*, 2006).

I.9.2.4.4 Les lipides

Bien que leur teneur dans les semoules ne dépasse pas 2 à 3%, les lipides jouent un rôle important en pastification, du moins ceux qui ne sont pas liés à l'amidon. Les lipides constituent un facteur déterminant de la couleur de la pâte. Elle est établie au cours de la période de fabrication des pâtes en raison de l'oxydation des pigments jaunes sous l'action des lipoxygénases principalement au cours de l'hydratation, malaxage, extrusion et pendant l'étape de séchage (Sissons, 2008).

I.9.2.4.5 Les matières minérales

Les semoules présentent une faible teneur en matières minérales. Le taux de cendres (matières minérales après incinération, variant d'une semoule à l'autre et dépendant essentiellement de la mouture (Boudreau et Germen, 1992).

I.9.2.4.6 Les vitamines

Dans la semoule, les vitamines sont en quantité relativement faible. La seule vitamine liposoluble présente est la vitamine E (Tocophérol) qui est localisée dans le germe (Mariche, 2000).

I.9.2.4.7 Les Enzymes

Les enzymes sont présents en petite quantité dans les semoules, les plus courantes sont les protéases, les lipases, les lipoxygénases et les amylases aussi la présence de phytoses (une phosphatase), de peroxydase et de catalyses (Boudreau et *al.*, 1992).

I.9.2.5 Processus de fabrication des pâtes alimentaires

Le procédé de fabrication continu est réalisé à l'aide de l'automatisation, donne lieu à une productivité haute (2-5 tonnes/h). Il comporte trois étapes fondamentales (Feillet, 2000 ; Petitot et *al.*, 2010).

1. L'hydratation/ malaxage de la semoule ;
2. Formage ou façonnage (extrusion/ laminage) ;
3. Séchage.

I.10 Evolution de la qualité technologique de blé dur

I.10.1 La qualité technologique du blé dur

La qualité technologique est considérée comme étant une expression consacrée par l'usage qui fait référence à l'aptitude d'une variété ou d'un lot de grain de blé à donner dans de bonne condition d'utilisation un pain acceptable (Rousset et Autan, 1979).

Les critères de la valeur technologique des produits sont différents selon les industries de transformation auxquelles ils sont destinés. Parmi les critères un est commun à tous les produit. C'est l'homogénéité des lots pour obtenir un produit (Farine, semoule...etc.) de qualité ayant une qualité homogène (Guz, 1988).

Les qualités de la semoule peuvent être divisées en deux catégories : celles qui se révèlent sur la semoule même, comme, surtout, sa coloration et celles qui nécessitent sa transformation en pâte compacte, crue ou cuite, pour pouvoir être appréciées. Kovacs, (1995) signale que la valeur semoulière dépendra de la nature des semoules employées et leur aptitude à produire des pâtes alimentaires de qualité.

I.10.2. Valeur semoulière

La valeur semoulière d'un blé dur, définie comme l'aptitude à donner un rendement élevé en semoule de pureté déterminée (Abecassis, 1991). Celle-ci dépend de trois groupes de facteurs (Allel et *al.*, 2021) :

❖ Facteurs extrinsèques

Ces facteurs sont très liés aux conditions de culture et de récolte. Leur influence sur la valeur semoulière est évidente et il en est d'ailleurs régulièrement tenu compte dans les transactions commerciales. Entrent dans cette catégorie :

- **La teneur en eau du grain** que l'on souhaite la plus faible possible ; elle est généralement comprise entre 10 et 16%.
- **Le taux d'impuretés**, le plus souvent égale à 2 ou 3% et qui représente la somme des produits étrangers utilisables (ex : grains d'autres céréales), nuisible (ex : ergo) ou inertes (ex : pierres). Les grains de blé tendre sont considérés comme impuretés jusqu'à 4%, au-delà, le lot n'est plus considéré comme un lot de blé dur sain, loyal et marchand.
- **Le taux et la grossier des graines cassées** qu'il est parfois impossible de séparer d'autres impuretés ou cours du nettoyage.

❖ Facteurs intrinsèques

Ce deuxième groupe de facteurs englobe plusieurs caractéristiques qui dépendent exclusivement de la maturité du blé mis en œuvre. Ces paramètres conditionnent la valeur technique. Dans cette optique la valeur semoulière dépend de :

- **Rapport albumen/enveloppes** que l'on cherche aussi élever que possible. Ce rapport dépend de l'épaisseur des enveloppes, de la forme du grain et de son degré d'échaudages.

D'une manière générale, on considère que la proportion d'enveloppes et d'autant plus grande que le poids du grain est petit. L'accroissement du rendement en sons au détriment de celui de la semoule devient vraiment significatif que lorsque le poids du grain devient très faible, inférieurs à 30mg de matière sèche. Au-delà de ce seuil d'autres facteurs deviendraient prépondérants, notamment la densité de l'amande qui dépend des conditions de remplissage et de dessiccation des grains en relation avec leur degré d'échaudage.

- **De la fiabilité de l'albumen** qui détermine les rendements relatifs en semoule et farine. Plus l'amande est vitreuse et dure, moins elle aura tendance à se réduire en farines, alors qu'un grain fortement mitadiné dont l'amande est farineuse est fiable, en

semoules. L'influence défavorable exercée par le mitadinage sur le rendement en semoule n'est guère discuté, son incidence réelle a néanmoins tendance à s'estomper avec l'évolution de la semoulerie vers la fabrication de produits de plus en plus fins.

- **De la facilité de séparation de l'albumen et des enveloppes** qui traduit la difficulté rencontrée par le semoulier pour « épuisier » convenablement les sons. Une liaison trop intime entre l'albumen et les couches périphériques du grain aura pour effet de diminuer le rendement semoulier – à qualité de semoule identique – ou d'augmenter la présence de piqûres des semoules – à rendement semoulier égal - il s'agit ici d'un grave défaut que seule la mouture d'essai permet d'apprécier.

❖ Facteurs réglementaires

Ce facteur concerne la richesse en matières minérales. Compte tenu du fait que l'albumen amylicé soit beaucoup moins minéralisé que les enveloppes et la couche à aleurone, il est admis que plus l'extraction sera poussée, plus le taux de cendres sera élevé et moins la semoule sera considérée comme pure de point de vue réglementaire (Abecassis, 1991).

La qualité de semoule produite au cours de la première phase de transformation est un critère très important pour les industriels (V. Ripetti et *al.*, 2000).

I.10.3 La valeur pastières

Selon Abecassis et Chaurand (1997) sous le terme « valeur pastière » peuvent être regroupées deux notions très distinctes :

D'une part l'aptitude des semoules à être transformées en pâtes alimentaires (facilité de malaxage, de tréfilage et de séchage).

La qualité des produits finis dépend de :

- Aspect des pâtes alimentaires à l'état cru : directement perceptible qui influence souvent l'achat en dehors des considérations du prix. Il est influencé par la gerçure, la texture superficielle des pâtes, les piqûres et la couleur.
- Qualité culinaire des pâtes alimentaire : Elle se manifeste lors de la cuisson.

Ces critères sont sous la dépendance de divers facteurs agronomiques et/ou technologiques. Ils s'agissent de temps minimal et maximal de cuisson, l'absorption d'eau, la texture des produits cuits, l'état de surface, l'arôme et le goût.



CHAPITRE II : MATERIEL ET METHODES

II.1 Objectif du travail

Cette étude consiste à évaluer quelques caractéristiques de la qualité technologique de neuf (09) variétés de blé dur dont un témoin SIMETO et huit (08) nouvelles variétés introduites en Algérie afin de permettre leur inscription au catalogue national des variétés pour leur homologation.

La détermination de la qualité pastière de la semoule de ces huit variétés est réalisée à travers les essais de la fabrication des pâtes alimentaires. La démarche d'étude est la suivante :

- Réaliser la mouture des variétés étudiées et déterminer les taux d'extraction de la semoule ;
- Déterminer les caractéristiques physico-chimiques et technologiques des variétés étudiées ;
- Réaliser des essais de la fabrication des pâtes alimentaires à partir des variétés étudiées.

II.2 Les conditions expérimentales et mesures effectuées au laboratoire

II.2.1 Lieu de stage

La présente étude est effectuée au laboratoire de technologie des céréales de l'institut technique des grandes cultures (ITGC) EL-HARRACH durant une période de (03) trois mois.

II.2.2 Matériel végétal utilisé

❖ Provenance

L'étude de comparaison est portée sur neufs (09) variétés de blé dur, dont un (01) témoin SIMETO, et huit (08) nouvelles variétés (introduites du CIMMYT, ICARDA, PNAB et ASCAD en Algérie). Elles proviennent de la ferme expérimentale de l'ITGC de Tiaret, récoltées durant la campagne agricole 2021/2022 et reçues en 2023 au niveau du siège de l'ITGC situé à EL-HARRACH.

Les huit (08) nouvelles variétés de blé dur étudiées sont testées dans la région de Tiaret. La variété SIMETO introduite d'Italie est utilisée dans cet essai comme témoin pour concrétiser les objectifs de recherche.

Ces variétés sont présentées dans le tableau ci-après : (source FDPS ITGC Tiaret 2021-2022).

Tableau 5. Liste des neuf variétés de blé dur étudiées.

Essai	Variétés	Origine	Pédigrées	Historiques
TEMOIN	V1	ICARDA	SIMETO	Capeiti x valnova
Variétés en Fixité	V2	ICARDA	V2	ICD07-349-BLMSD-0AP-0Tr-4AP-0Tr-4AP-0THT-0AP-0Trt-0Trt
Pré-Multiplication 1 ^{ère} Année	V3	ICARDA	V3	ICD09-0174-BLMSD-0AP-4AP-OAP-3AP-0TR-2STR-0TR-0AUB-0AUB-0Trt-0Trt-0Trt
Pré-Mul 3 ^{ème} Année	V4	PNAB	V4	DZ.OS.09-067-0OS-0OS-0SE-0SE-0SE-0SE-0kh-0kh-0SE-0SE
Pré-Mul 4 ^{ème} Année	V5	ICARDA	V5	ICD06-1525-BLMSD-0AP-1AP-0Tr-5AP-0Tr-2AP-0THT-0AP-0Trt-0Trt
	V6	CIMMYT	V6	CDSS07Y00032S-099Y-099M-16Y-2M-04Y-0B-0Trt-0Trt
1 ^{ère} année d'homologation	V7	ACSAD	ACSAD 1443: DJEBEL GUEZOUL	ACS-D-9541(2006) -0IZ-15IZ-3IZ-0IZ
3 ^{ème} année d'homologation	V8	CIMMYT	Beni lent	CDSS02B01285T-0TOPB-0Y-0M-11Y-3M-04Y-0B-0Trt-0Trt-0Trt
	V9	CIMMYT	Columnata	CDSS02B00849T-0TOPB-0Y-0M-7Y-2M-04Y-0B-0Trt-0Trt-0Trt

II.2.3 Conditions climatiques du site de culture des variétés expérimentées

Les variétés ont été cultivées durant la campagne agricole 2021-2022 à l'ouest de l'Algérie, précisément, à Tiaret qui représente l'une des régions de la production des céréales.

Selon le bilan de l'ITGC (2022) (tableau 6), La campagne 2021/2022 s'est caractérisée au début par un climat sec et chaud à températures moyennes dépassant les saisonnières avec une absence des pluies le long des mois de septembre et octobre 2021 à l'exception des orages survenus en fin de mois de septembre illustrant 13.8mm et un deuxième en fin du mois d'octobre traduit par de faible précipitation de 6.7mm. Les préparations des sols ont été embarrassées sous ces conditions de sécheresse.

Tableau 6. Caractéristiques climatiques de la campagne agricole 2021/2022 de Tiaret.

Mois	Pluviométrie			Températures			Aléas climatiques					
	(mm)			(°C)			Nombre de jour					
	Cumul	Nbr /jrs	Rosée	Mini	Maxi	Moy	Gelées	Neige	Grêle	Sirocco	Brouillard	Vent
Sept	13,8	3	0	18,83	34,63	26,73	0	0	0	0	3	0
Oct.	6,7	3	0	9,28	25,56	17,42	0	0	0	1	2	0
Nov	57,8	20	4	3	14,36	8,68	2	0	1	3	8	0
Déc	20,6	7	7	0,25	15,14	7,70	13	0	0	0	3	0
Jan	9,2	3	5	-4,10	14,84	5,37	26	0	0	0	3	3
Fév.	23,2	4	0	-1,89	18,43	8,27	19	0	0	0	5	3
Mars	121,4	19	1	2,74	17,08	9,91	3	0	0	0	2	8
Avril	81,4	11	1	3,98	16,82	10,40	0	0	0	0	2	5
Mai	20,1	5	0	10,06	25,98	18,02	0	0	0	0	0	2
Juin	10,6	7	0	14,5	36,4	25,45	0	0	0	1	0	7
Juillet	10,6	8	0	19,61	38,29	28,95	0	0	0	0	0	8
Moy T	375,4	90	18	6,93	23,41	15,17	63	0	1	1	16	52

À partir du début du mois de novembre, le changement climatique survenu s'est traduit par des précipitations considérables avec un cumul de 57.8mm réparties sur 20jours alternées parfois par des éclaircis accompagnés d'une baisse des températures à un seuil saisonnier.

Le mois de janvier s'est caractérisé par un manque de pluie à l'exception de 9,2mm enregistrés en première décade avec un froid sévère d'où le seuil des températures nocturnes a atteint - 4,10°C suite auxquelles a eu un arrêt de croissance des plants en stade levée et un retard de levée pour les semis tardifs. Cette situation de stress hydrique a persisté jusqu'à la fin du mois de février 2022.

Le changement climatique enregistré dans les derniers jours du mois de février ainsi que la période printanière (Mars, Avril, Mai) ont engendré des précipitations considérables qui ont permis une rénovation des cultures. Entre autre, une chute des températures nocturnes survenue du 20 avril au 10 mai 2022 et qui a coïncidé avec le remplissage de grain a fortement influencé les poids de mille grains (PMG) des lignées ainsi que les rendements.

II.3 Expérimentation

II.3.1 Echantillonnage

Les grains de blé des huit variétés étudiées sont récoltés au niveau du site expérimental de l'ITGC de Tiaret. Le témoin était déjà stocké dans la chambre froide de l'ITGC d'EL Harrach. Les grains sont transportés de Tiaret, dans des sachets en papier, fermés pour éviter toute sorte de contamination.

II.3.1 Préparation des échantillons à la mouture

Les grains de blé subissent différents traitements, juste après leur réception au niveau du laboratoire de technologie des céréales de l'ITGC. Toutes les analyses effectuées sont faites après le nettoyage à l'exception du poids spécifique des graines, qui est réalisé en éliminant manuellement les grosses impuretés.

La matière première (grains de blé arrivés de Tiaret) subit plusieurs opérations qui sont les suivantes :

II.3.1.1 Nettoyage

Après la réception des grains, ces derniers sont stockés dans la chambre froide aux mêmes conditions que la variété SIMETO qui y était déjà stocké, un pré nettoyage est effectué par tamisage à l'aide d'un tamis dont le diamètre est de 4 mm (figure 8), suivi d'un nettoyage manuel pour se débarrasser de toutes les impuretés (graines étrangères, graines d'autres céréales, enveloppes, pailles, pierres...). Pour la mouture, il faut préparer 1kg (poids net) pour chaque variété étudiée comme échantillon.



Figure 8. Tamisage des grains de blé dur (pré nettoyage).

II.3.1.2 Conditionnement

Après le nettoyage et échantillonnage pour la mouture, le conditionnement est réalisé dans un mélangeur Chopin (Figure 9). Pour les huit nouvelles variétés, elles ont subits d'abord, un prés-conditionnement à 14% d'humidités pendant 24 heures, ensuite un conditionnement a 17% deux heures avant la mouture, a fin d'avoir une meilleure séparation du son et de l'amande et facilité le broyage de celle-ci. Pour la variété témoin SIMETO le conditionnement est fait directement à 17% d'humidité en raison de sa teneur en eau initial qui est près de 16%, une certaine quantité d'eau est additionnée au blé pour atteindre graduellement une teneur en eau de 17%.

Pour déterminer l'humidité initiale de l'échantillon, il faut peser 5 g de grains, les mettre dans une étuve à 130 °C pendant deux heures et faire une deuxième pesée pour déterminer le poids perdu qui représente l'humidité initiale.

Pour déterminer le volume d'eau à ajouter au blé pour le conditionnement, La fonction suivante est appliquée :

$$V = (H_f - H_i) \cdot 12$$

Où :

V. est la valeur d'eau en ml à ajouter.

H_f . Humidité finale des graines à 17 %

H_i . Humidité initiale des grains entiers du blé avant conditionnement.

Le volume d'eau calculé par la formule est rajouté à l'échantillon (1kg de blé) dans des bocaux hermétiques fermés (Figure 10) et placés dans les mélangeurs (Chopin), pendant une demi-heure, pour assurer l'agitation et le mélange uniforme de l'eau et des grains. En suite ; ces derniers sont laissés au repos durant 48heures à la température ambiante.



Figure9. Mélangeur des grains



Figure10. Bocal hermétique fermé

II.3.1.3 La mouture

La mouture a pour but de séparer l'amande vitreuse du grain de blé de ses enveloppes pour le transformer en semoule. Elle est réalisée au niveau du laboratoire de technologie de l'ITGC à l'aide d'un moulin expérimental de type NAMAD (figure 11). Ce moulin simule les principales étapes d'un moulin industriel : Un broyage avec deux passages entre trois cylindres cannelés fixes et un tamisage par bluterie centrifuge.



Figure 11. Moulin de type NAMAD.

Après la mouture, on récupère trois fractions, du son, une partie infime (des remoulages) et la semoule, celle-ci est récupérée et conservée à 24°C dans des sachets papiers étanches (figure 12) pour limiter les modifications de sa composition biochimique et ses paramètres technologiques.

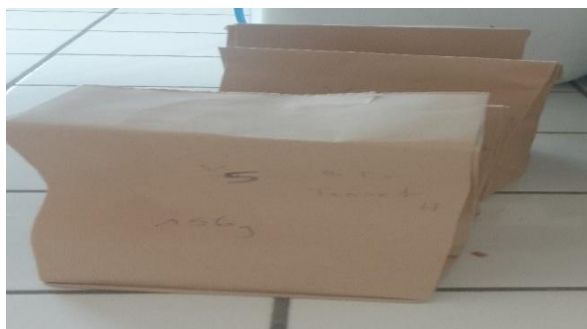


Figure 12. Conservation des semoules dans des sachets en papier

II.4 Méthodes analytiques

Des analyses physiques, chimiques et technologiques sont effectuées sur les échantillons. Tous les traitements effectués dans l'expérimentation sont faits en deux répétitions sauf pour deux paramètres technologiques (le taux d'extraction et le test au Mixographe) ils sont faits en une seule répétition.

II.4.1 Analyses physiques

II.4.1.1 Poids Spécifique ou masse volumique

La masse volumique dite masse à l'hectolitre, appelée communément Poids Spécifique (PS), est la masse d'un hectolitre de grains exprimée en kilogrammes (NA1613/1990). Elle est considérée comme un indicateur de la valeur semoulière en relation avec le rapport enveloppe sur amande. Plus le poids à l'hectolitre est élevé, plus le rapport enveloppe sur amande est faible et le rendement semoulier important. La valeur minimale pour la mise à l'intervention est de 78 kg/hl. (I.T.C.F., 2001). Les valeurs Obtenues avec l'appareil manuel de 1 litre de type Niléma-litre (Figure 13).



Figure13. Appareil manuel de 1 litre de type Niléma-litre.

- **Principe**

La masse à l'hectolitre est calculée à partir de la masse de 50 litres (trémie conique) pour les blés durs, sur un échantillon débarrassé manuellement des grosses impuretés (I.T.C.F., 2001). L'analyse est réalisée selon la norme NA -1613-1990. Les résultats sont exprimés par le tableau de conversion en kg/hl.

- **Mode opératoire**

Les grains de blé dur de chaque variété sont remplis dans un béccher de volume connu (500ml) puis pesés (Figure14). La masse obtenue correspond à la masse d'un volume de 500ml. La masse spécifique à l'hectolitre sera déterminée par la suite en appliquant la règle de trois.



Figure14. Remplissage des grains un bécher de 500ml.

II.4.1.2 Poids de mille graines (PMG)

Le PMG est déterminé selon la norme (NA.730. 1991.E, ISO 520), elle représente la masse de 1000 grains de blé dur qui indique le mode d'élaboration du rendement et des problèmes que la plante a pu rencontrer pendant son développement (échaudage, attaques d'insecte ou maladies).

❖ Principe

Pesée d'une quantité d'échantillon, séparation des grains entiers et pesée du reste, suivie du comptage des grains entiers. Division de la masse des grains entiers par leur nombre, et expression des résultats rapportée à 1000 grains.

❖ Mode opératoire

Prélever au hasard une quantité approximativement égale à la masse de 500 grains de l'échantillon tel quel et la peser à 0,01 gramme (figure 15) près, par suite sélectionner les grains entiers (les grains cassés sont éliminés), peser le reste à 0,01 gramme près et en déduire par différence la masse des grains entiers, puis compter ces derniers à l'aide du compteur de grains (Figure 15), effectuer deux essais sur le même échantillon, en fin déterminer sur un échantillon séparé la teneur en eau selon la méthode **ISO 712**.



Figure15. Le compteur à grains de type NUMEGRAL et la balance analytique type KENR précise a 0.01 gramme.

❖ Expression des résultats

- ✓ Les résultats sont exprimés en grammes par rapport à la matière du poids de mille grains entiers :

$$\text{PMG/MS} = \text{PMG} \frac{100 - H(\%)}{100}$$

Où :

PMG/MS. la masse de mille grains entiers par rapport à la matière sèche en gramme ;

PMG. la masse de mille grains entiers en gramme ;

H (%). la teneur en eau des grains au pourcentage.

L'écart entre les deux essais (répétabilité) ne doit pas excéder 6% pour grains ayant une masse supérieure à 25g/1000g et 10% pour les autres grains.

II.4.1.3 Le taux de mitadinage des grains

C'est un paramètre physique qui informe sur la vitrosité des grains de blé dur. On entend par grains mitadinés de blé dur, les grains dont l'amande ne peut être considérée comme pleinement ou partiellement vitreuse (Scottiet M., 1997). Il est déterminé selon la norme ISO - 5532-1980 correspondant à la NA 1183-1990.

❖ Principe

La détermination est faite sur 300 grains, en comptant les grains mitadinés après les avoir coupés transversalement à l'aide d'un scalpel (figure16).



Figure16. Scalpel

❖ **Mode opératoire**

Introduire la plaque du coupe grains, verser une poignée de grains entiers sur la grille, par suite secouer de façon qu'un grain se place verticalement dans chaque alvéole puis rabattre le couvercle pour maintenir les grains à trancher, puis secouer lentement tous les grains, retirer la plaque avec précaution, puis compter le nombre de grains mitadinés.

❖ **Expression des résultats :**

Les résultats sont exprimés en pourcentage de grains mitadinés, par cette fonction qui suit :

$$M (\%) = (M_1/M_2)100$$

Où :

M₁. Nombre de grains entiers mitadinés présents dans les 300 grains.

M₂. Nombre de grains entiers du prélèvement (300 grains).

II.4.1.4 Taux de moucheture

C'est un phénomène qui dépend de plusieurs facteurs mais surtout la durée de pluie durant le remplissage des grains. Elle est déterminée selon la méthode **BIPEA**.

❖ **Principe**

Le taux de moucheture est déterminé à l'appréciation visuelle, présentant d'une coloration brun noirâtre à d'autres endroits que le germe.

❖ Mode Opérateur

Peser 20 grammes de grains de blé dur entier, Faire l'appréciation de moucheture à l'œil nu, Puis peser les grains présentant des taches brunes ;

❖ Expression des résultats

Les résultats sont exprimés en grammes de grains mouchetés pour 100 grammes de l'espèce considérée :

$$M \% = (M_1/M_2)100$$

Où :

M (%). Taux de moucheture en pourcentage ;

M₁. Masse en gramme de grains entiers mouchetés présents dans 20 grammes de l'échantillon ;

M₂. Masse en grammes du prélèvement (20g) ;

II.4.2 Les analyses chimiques**II.4.2.1 Teneurs en eau**

La teneur en eau est déterminée selon la norme (ISO712 : NA 1132-1990), on entend conventionnellement par la teneur en eau, la perte de masse, exprimée en pourcentage, subie par le produit.

❖ Principe

La teneur en eau des différents échantillons est déterminée par séchage de 5 g du produit (grains broyés ou mouture entière des grains) dans une étuve Chopin à une température de 130°C pendant 2 heures (pour les grains) et pendant 1 heure et 30min (pour la semoule) (figure17).

❖ Mode Opérateur

Peser à 1mg près, 5g de l'échantillon par essai et les verser dans un bocal métallique non attaqué dans les conditions, ou à défaut en verre, muni d'un couvercle suffisamment étanche (figure 18) , Introduire le bocal ouvert, contenant la prise d'essai, et le couvercle dans une étuve isotherme (à chauffage électrique, réglé de telle façon que la température soit comprise entre 130°C et 133°C en régime normal) pendant 2 heures (90min dans le cas des farines ou semoules) puis En opérant rapidement, retirer le bocal de l'étuve, le couvrir et le placer dans le dessiccateur , en fin laisser refroidir le bocal durant 30minutes, le peser à 1mg près (figure 18).



Balance analytique



Broyeur des grains entiers buhler



Dessiccateur



Bocal métallique



Etuve éventuelle

Figure 17. Appareillage nécessaire pour déterminer la teneur en eau des échantillons.

❖ Expression des résultats

La teneur en eau, s'exprime en pourcentage en masse de produit tel qu'elle est égale à :

$$H\% = \frac{(P_1 - P_2)100}{P_0}$$

Où :

P₀. La prise d'essai (5g de l'échantillon) ;

P₁. La masse en gramme du vase plus la prise d'essai avant séchage ;

P₂. La masse en gramme de la nacelle après séchage ;

Prendre comme résultat la moyenne arithmétique de la détermination si la condition de répétabilité est remplie ; La différence entre les deux résultats de deux essais (répétabilité) ne doit pas excéder 0,15 en valeur absolue.

II.4.2.2 Teneur en cendres

La détermination du taux de matière minérale, principalement répartie dans les enveloppes et le germe, elle permet de donner une indication sur le taux d'extraction en meunerie.

❖ Principe

La teneur en cendres est déterminée par la pesée du résidu obtenu par incinération d'une prise d'essai de 2g de l'échantillon dans une atmosphère oxydante à une température de 900°C jusqu'à combustion complète de la matière organique et obtention d'une masse constante après plusieurs pesés.

❖ Réactif et appareillage

- Éthanol, solution à 95% ;
- Échantillon témoin, de même nature et de taux de cendres aussi proche que possible du produit ou des produits à analyser ;
- Une balance analytique ;
- Dessiccateur garni d'un agent déshydratant efficace ;
- Four à moufle, la température d'incinération est réglable à la température 900°C
- Plaque unie thermorésistante (amiante) ;
- Creusets à incinération, en matériaux non attaquable dans les conditions de l'essai d'au moins 20ml de capacité.

❖ **Mode opératoire**

- **Préparation des creusets à incinération** : chauffer durant 10min les creusets dans le four réglé à $900^{\circ}\text{C} \pm 25^{\circ}\text{C}$, laissé refroidir à température ambiante dans le dessiccateur et les peser à 0,1g près ;
- **Préparation d'échantillon** : homogénéiser le produit analysé par une spatule ; Tarer les creusets ; peser exactement 2g de produit analysé.
- **Pré incinération** :
 - Afin d'accélérer la combustion de la matière organique, mettre 2 gouttes d'éthanol à 95% sur la prise d'essai ;
 - Placer les creusets à l'entrée de four, jusqu'à ce que la matière organique s'enflamme ;
 - Pousser progressivement les creusets à l'intérieur du four dès que la flamme est éteinte ;
 - Aussitôt que la flamme est éteinte, placer avec précaution les creusets à incinération dans le four pendant une heure et demi (1h30min) ;
 - Une fois l'incinération est terminée, retirer les creusets du four, et les mettre à refroidir sur la plaque unie thermorésistante pendant 1min, puis dans le dessiccateur jusqu'à la température ambiante, la peser alors rapidement à 0,1mg près.

❖ **Expression des résultats**

Les résidus sont exprimés en pourcentage, par la formule suivante :

$$\text{T.C}(\%) = \frac{(M_2 - M_0)}{M_1 - M_0} * 100 * \frac{100}{100 - H(\%)}$$

Où :

M₀, Masse en gramme du creuset vide ;

M₁, Masse en gramme du creuset et de la prise d'essai avant incinération ;

M₂, Masse en gramme du creuset et de la prise d'essai après incinération ;

H (%), La teneur en eau de la farine en pourcentage ;

La différence entre les deux résultats de deux essais (répétabilité) ne doit pas excéder 0,02% en valeur absolue pour le taux des cendres inférieur à 1%.

II.4.2. 3 Dosage de taux de protéines

La teneur en protéines est déterminée selon la méthode de dosage de l'azote total de Kjeldhal. (Norme NA 1158,1990, ISO 1871) Elle permet une évaluation de la teneur en protéines par utilisation de facteur de conversion adéquat (5,7 pour les protéines du blé). Le dosage de l'azote permet de donner une idée sur la qualité nutritionnelle et technologique des blés.

❖ Principe

Il consiste à une minéralisation de l'échantillon par l'acide sulfurique concentré (98%) en présence de catalyseur à 350°C pendant 3 heures sous hotte aspirante, puis l'alcalinisation des produits de la réaction et enfin distillation de l'ammoniac libéré et titrage.

Le titrage s'effectue avec une solution de l'acide chlorhydrique HCl 0,25N par la méthode volumétrique jusqu'au virage de la couleur vers la rose.

❖ Réactifs et appareillage

- Acide sulfurique H_2SO_4 concentré de 95-97 %, $d = 1,84$ à 20°C et la masse molaire : 98g/mol
- Acide chloridrique HCl 0,25N
- Acide Borique H_3BO_4 à 4%, solution à préparer comme suit : Dissoudre 4g dans 100ml d'eau.
- Hydroxyde de sodium NaOH, solution à 35% (m/v), $d = 1,33$ à 20%, à préparer de la manière suivante : dissoudre 500gde soude dans un litre d'eau distillée.
- Catalyseur de consistance solide (poudreuse) :
 - Sulfate de cuivre en poudre $CuSO_4$ (couleur bleue) : 1g ;
 - Sulfate de potassium K_2SO_4 (couleur blanche) : 6g ;
- Indicateur coloré : rouge de méthyle à 0,1% dans l'alcool à 95% ;
- Hotte aspirante, Matras ;
- Balance analytique ;
- Distillateur de type Gerhardt Vapodest.

❖ Mode opératoire

Ce test se déroule en trois (03) étapes :

- **Première étape : Minéralisation sulfurique (attaque sulfurique) :**

- Introduire dans deux matras de minéralisation 1g de sulfate de cuivre (CuSO_4) et 6g de sulfate de potassium (K_2SO_4) comme catalyseurs (accélère la réaction) ;
- Ajouter dans les deux premiers matras 1g d'échantillon pour essai sur un morceau de papier sans cendre, sachant que le troisième matras formera l'essai à blanc (pas d'échantillon).
- Ajouter 25ml d'acide sulfurique pur aux deux échantillons et mélange de 5ml et 20ml d'acide sulfurique dans l'essai à blanc ;
- Après une attaque à froid pendant 15min jusqu'à l'apparition des vapeurs blanches d'anhydride sulfurique ; porter dans un minéralisateur à une température de 350°C pendant 3 heures.

A l'issue de cette étape, l'azote organique est décomposé en sulfate d'ammonium $\text{SO}_4(\text{NH}_4)_2$.

- **Deuxième étape : Distillation de l'ammoniac**

- Quand la solution devient limpide, elle est refroidie puis on ajoute 50ml d'eau distillée dans chacun d'eux ;
- La neutralisation avec 100 ml de la solution d'hydroxyde de sodium 35% à l'aide de l'appareil KJELDAHL qui relie cette solution à une fiole conique de 50 ml de la solution d'acide borique H_3BO_4 à 4% de la solution d'indicateur mixte (rouge de méthyle et bleu méthylène).

L'ammoniac formé (NH_3) est fixé dans la solution d'acide borique contenant l'indicateur coloré.

- **Troisième étape : Titrage**

L'excès d'ammoniac est titré par une solution d'acide chlorhydrique à 0,25N.

Dans titreur automatique jusqu'à apparition du virage.

❖ Expression et résultats

Les résultats sont exprimés en pourcentage de protéines, ils sont la moyenne arithmétique de deux déterminations pour chaque échantillon. Limites de répétabilité ne doivent pas excéder :

$$TA (\%MS) = 100/20 * (0,0014 * V * 100) / M$$

Où :

V. Volume en millilitre de la solution d'acide sulfurique versé à la burette lors du titrage.

M. Masse en gramme de la prise d'essai (1 gramme)

Les résultats de de la teneur en protéines (TP %) est exprimé en % de protéines par rapport à la matière sèche et selon la moyenne de deux essais :

$$TP (\%MS) = TA * 5,7 * 100 / 100 - H$$

Où :

TA (%). Teneur en azote, exprimée en % en masse de produit ;

H %. Humidité des grains entiers ;

5,7. Coefficient de conversion de l'azote en protéines ;

II.4.3 Les analyses technologiques

II.4.3.1 Indice de coloration

Les indices de coloration : brun (IB) et jaune (IJ) sont déterminés par un spectrophomètre (Figure 18), grâce à un colorimètre de type HUNTERLAB (géométrie 0/45 ; illuminant D65, angle d'observation 10°C).



Figure 18. Appareil d'indice de jaune et brune « spectrophomètre ».

Ces conditions sont celles retenues par la commission internationale de l'éclairage (CIE). Les résultats représentent par la moyenne de 6 essais, sont exprimés en fonction d'unité de mesure CIE. Les résultats de ces paramètres sont exprimés en moyennes des six essais puis calculé par la formule suivante :

$$IJ = b \text{ et } IB = 100 - L$$

Où :

B. Est la moyenne des six essais de l'indice de jaune.

L. Est la moyenne des six essais de l'indice de brune.

II.4.3.2 Teneur en gluten humide et sec

Le gluten humide d'une semoule de blé dur est la substance Pasto-élastique composé principalement de gliadine et de Gluténines. Il constitue l'armature de la pâte et lui communique ces propriétés rhéologiques.

❖ Principe

Préparation d'une pâte au moyen d'un échantillon de semoule et d'une solution de chlorure de sodium. Isolement du gluten humide par lavage de cette pâte avec la solution de chlorure de sodium, puis essorage et pesée du produit obtenu.

❖ Réactifs

L'eau utilisée doit être de l'eau distillée.

- Chlorure de sodium, solution à 20g/l.

- Préparer la solution fraîche chaque jour et utiliser à une température comprise entre 18 et 20°C.

Dans ces situations, lorsque la teneur en protéines n'informe pas sur la qualité, d'autres analyses sont requises. Le système Glutomatic est conçu pour mesurer la qualité des protéines selon les paramètres suivants :

- Teneur en gluten sec ;
- Fixation de l'eau par le gluten ;
- Force du gluten avec le Gluten Index.

La méthode Glutomatic permet de mesurer les différentes propriétés du gluten en un seul test.

La méthode Gluten Index est la seule qui permet de déterminer la qualité du gluten sur blé broyé, farine complète et farine blanche.

❖ Mode Opérateur

Pour déterminer la teneur en gluten sec et humide, on suit les étapes suivantes :

Pesée : 10,0 g \pm 0,01 g de farine blanche ou complète sont pesés et placés dans la chambre de lavage du Glutomatic doté d'un tamis en polyester de 88 microns. Lorsque le gluten de blé vital est mesuré, 1,5 \pm 0,01 g est pesé.

Ajout d'eau : 4,8 ml d'une solution salée est ajouté à l'échantillon de farine. Aucune solution salée n'est ajoutée à l'échantillon de gluten de blé vital.

Mélange La semoule ou complète et la solution salée sont mélangées pendant 20 secondes de manière à former une pâte.

Lavage : Après la phase de mélange, le lavage débute automatiquement et se poursuit pendant 5 minutes. L'échantillon de semoule complète est transféré vers la chambre, équipée d'un tamis grossier de 840microns permettant aux particules de son d'être lavées.

Centrifugation : 30 secondes précisément après la fin du lavage, le morceau entier de gluten humide est transféré vers la cassette à tamis et centrifugé pendant une minute dans la Centrifugeuse 2015 à 6 000 \pm 5 tr/min.

Pesée : La fraction qui est passée à travers le tamis est grattée avec une spatule puis pesée. La fraction fixée à l'intérieur du tamis est recueillie et ajoutée à la balance. On obtient le poids total du gluten humide.

Séchage : La totalité du gluten humide est séchée à 150 °C minimum pendant 4 minutes dans le Glutork 2020. Après le séchage, on pèse le gluten (figure 19).

Calcul : L'indice de gluten (Gluten Index) est la quantité de gluten qui est restée fixée à l'intérieur de la filière de la centrifugeuse par rapport au poids total du gluten humide.

Le matériel utilisé pour réaliser ses étapes est illustré dans la figure 19.



Appareil de lavage de la pâte de blé dur



Appareil Centrifugeuse.



Balance précise à 0,01g



Appareil a séchage (Glutork 2020) de la pâte

Figure 19. Appareillage nécessaire pour déterminer la teneur en gluten sec et humide des échantillons.

❖ Expression des résultats

Calcul du gluten humide (Gh)

Où :

$$Gh = (M_1 * 10 * 100) / 100 - H$$

Calcul du gluten sec (Gs)

$$Gs = (M_2 * 10 * 100) / 100 - H$$

Calcul du gluten index

$$GI = P_1 * 1000 / M_1$$

Calcul du gluten index ou indice de gluten

$$GI = P_1 * 100 / M_1$$

Où :

M₁. Masse en gramme de gluten humide ;

M₂. Masse en gramme de gluten sec ;

P₁. Masse en gramme restant sur le tamis après centrifugation ;

H. Teneur en eau de la semoule exprime en pourcentage de masse du produit ;

II.4.3. 3 Test de sédimentation (SDS)

Ce test caractérise la qualité des protéines et surtout leur gonflement en milieu acide. Il nous renseigne sur la qualité des protéines du gluten, il permet d'avoir une idée sur l'élasticité et la ténacité du gluten (Godon et Will., 1998).

❖ Principe

Mise en suspension d'une prise d'essai dans une solution de SDS (Sodium Dodecyl Sulfate) à 30% après une phase d'agitation et de repos suivie d'une lecture du volume de dépôt exprimé en millilitre, c'est le résultat du gonflement des protéines du produit. Il est réalisée selon la norme Axford et *al* (1978).

❖ Réactifs

- Sodium -dodécul sulfate pur ;
- Eau distille ;
- Solution diluée d'acide lactique à 88% (1partier d'eau distille + 7 parties d'eau distillé) ;

Dissoudre 30 grammes de SDS dans 1litre d'eau distillé, ajoutée 20ml de de la solution diluée acide lactique.

❖ Mode opératoire

Peser 6 g de semoule de chaque variété, et ajouter 50 ml d'eau distillé dans une éprouvette graduée de 100ml à fond plat avec bouchon, Le mélange et agite broutement aux temps 0, 2,4 ,6 pendant 2minutes, Immédiatement après la dernière agitation, on ajoute 50ml de la solution SDS à 3% contenant 20ml d'acide lactique dilué huit fois, A partir de cet ajout, le mélange agité 4 inversions lentes et successifs, L'éprouvette est laissée au repos pondent 30 minutes. Ce test est réalisé en deux répétitions.

❖ Expression des résultats

Les résultats de ce test est le volume qui est directement lue sur l'éprouvette graduée et exprimé en militer. Les normes en faites selon les nombres de fourches.

II.4.3.4. Taux d'extraction

Le taux d'extraction représente le pourcentage de semoule extraite à partir de la mouture des grains de blé dur propre .il dépend des caractéristiques du blé mise en œuvre et du réglage du moulin (Roussel, 1984).

❖ Principe

Le taux d'extraction est issu de la mouture entière de 1 kg de graine de blé propre (élimination de toute les impuretés), puis conditionnée selon la teneur en eau des graines et laisses-en repos pendant 24 h et puis faire la mouture à l'aide d'un mouline de type NAMAD.

II.4.3. 5.Test au Mixographe

Le Mixographe (Figure 20) est un appareil utilisé pour la mesure de la consistance de la pâte au cours du pétrissage, il est effectué selon la norme (AACC 54-40A). Il constitue un test intéressant pour la détermination des propriétés rhéologiques des pâtes alimentaires.

❖ Principe

Dix (10) grammes de semoule sont hydratés en fonction de leur teneur en protéines. Le malaxage s'effectue dans le bol du Mixographe et la plume est posée à la base de la feuille d'enregistrement (Figure 20). Il se fait pendant 8min et les paramètres à étudier sont :



Figure 20. Appareil du mexographe.

- ✓ Le temps de développement de la pâte (mixing time) exprime en minutes, qui caractérisent la force de la pâte ;
- ✓ La hauteur de la pente donnée en % (high of slope) qui correspond à la viscosité de la pâte ;
- ✓ L'affaiblissement ou la tolérance ou pétrissage qui est la différence entre la hauteur de la courbe ou pic maximum et la hauteur de la courbe après 6 min de pétrissage exprime en % ;

❖ **Mode opératoire**

Mettre l'appareil sous tension, allumer le ventilateur FAN (bouton FAN), par suite régler la plume d'enregistrement, Mettre le ressort de rappel en position (02), Mettre 10g de semoule dans le bol du pétrin, Ajouter la quantité d'eau nécessaire (selon la teneur en protéine T), Descendre la deuxième broche du pétrin, Déclencher le bouton du déroulement du papier et le bouton de pétrissage (bouton mixeur), Pétrir 8 min, Arrêter les deux boutons du déroulement (papier et mixeur), Soulever la deuxième broche du mixeur, Enlever le bol du pétrin et le laver, et passer à l'essai suivant.

❖ **Expression des résultats**

Le calcul des paramètres se fait de la manière indiquée sur l'annexe 2.

II.5. Essai de pastification

Cette opération consiste à procéder au test de pastification qui lui-même réside en la fabrication des pâtes alimentaires. Les principales étapes de fabrication ont été réalisées selon un protocole standard de production des pâtes alimentaires décrit par Mestres et *al.*, 1989 ; Abecassis et *al.*, 1994 et Petitot et *al.*, 2009a ; Petitot et *al.*, 2010.

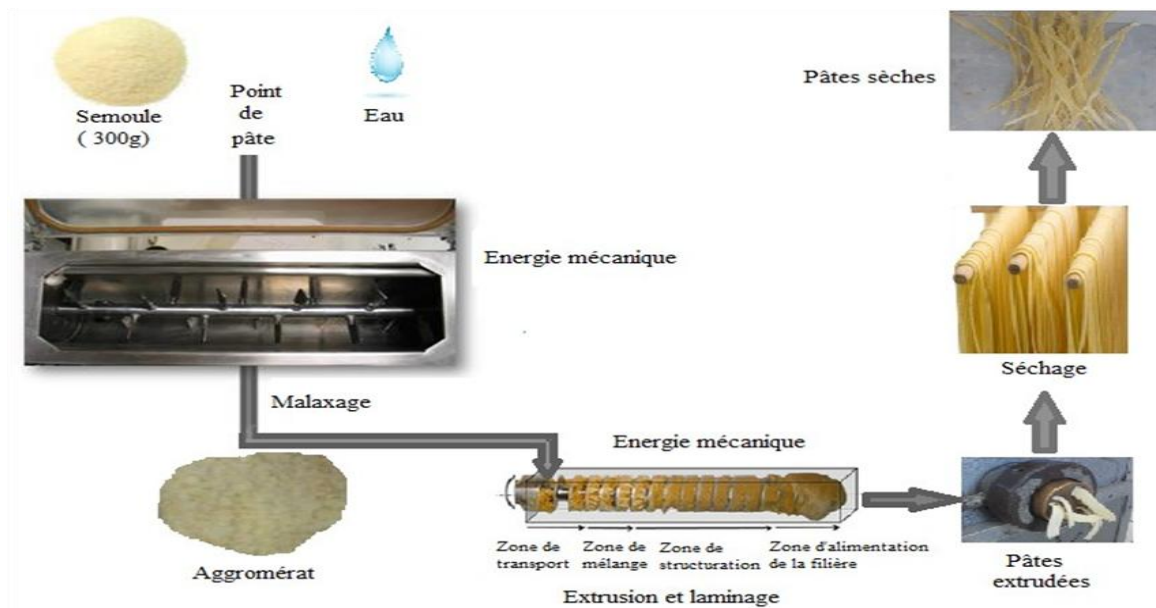


Figure 21. Schéma des étapes de la production des pâtes alimentaires.

Le diagramme et le procédé de fabrication sont réalisés au niveau du laboratoire de l'ITC (figure 21), la fabrication est opérée dans les conditions habituelles avec le même matériel connu et employé dans la production des pâtes alimentaires de type tagliatelles (figure 21). Les formules étudiées sont imposées par le plan d'expérience d'où pour chaque préparation, nous avons pesé 100 g de semoule de blé dur, avec une quantité d'eau distillée qui est définie selon la teneur en eau de la semoule. Une seule fabrication est réalisée pour le témoin SIMETO ainsi pour chacune des variétés en raison de la quantité de blé limité.

II.5.1 Les étapes du diagramme de fabrication

- **Hydratation/malaxage**

Les pâtes alimentaires sont fabriquées avec une presse expérimentale de type NAMAD de la façon suivante :

300g de semoule sont hydratés, dans un récipient en plastique puis mélangés manuellement de façon à bien faire pénétrer l'eau dans la semoule. Après un malaxage manuel suivie d'une phase de malaxage à l'aide d'une machine à pâte jusqu'à obtenir une forme sableuse de notre mélange. Par la suite l'homogénéisation de la pâte en quelques minutes, puis pressage jusqu'à formation de la pâte alimentaire, par suite ces derniers sont coupés à une longueur de 20 cm. En fin, les pâtes obtenues sont mises sur un fil et laissées à une température ambiante pendant 24 heures dans une pièce aérée (Figure 22).



Malaxage manuelle.



Malaxage a l'aide de la machine à pâte.



Formation des pâtes alimentaires.



Séchage des pates alimentaire

Figure 22. Les étapes de la pastification.

II.5.2 Appréciation de la qualité de la pâte alimentaire

Les propriétés qui définissent la qualité des pâtes alimentaires sont déterminées à travers leur aspect à l'état cru, leur comportement durant et après la cuisson.

II.5.3 Appréciation de la qualité culinaire de la pâte : AFNOR NF ISO 7304-1985

La qualité culinaire des pates alimentaire a été déterminée dans les conditions décrites par AFNOR NF ISO 7304, Chaque caractéristique technologique étudiée est réduite en note de 1 à 9, en référence à des témoins aux qualités reconnues :

- **Testde Cuisson :** 100g de pates sont coupées en brin de 20 cm puis versées dans 2 litres d'eau minérale ; salée à 7g de Na CL/L et maintenue à fraiche ébullition.
- **Temps minimal de cuisson (T en mn) :** il est déterminé en prélevant des brins de pâtes en cours de cuisson, en les écrasant entre deux plaques de verre et en suivant la disparition d'une ligne médiane dont la présence témoigne encore l'amidon au cœur de la pâte est encore cru.
- **Temps optimal de cuisson :** il varie selon les habitudes alimentaires de chaque individu et se situe généralement entre T+1min et T+6min.

- **Temps de surcuisson :** Temps T+11 correspond à une sur cuisson : la cuisson est poursuivie jusqu'à des temps de T+6 et T+11 minutes de cuisson.
- **Etat de surface (ET) :** Après une cuisson T+11 minutes, l'état de surface des pâtes est apprécié par l'analyse sensorielle (Annexe 3). Les pâtes sont notées de 1 à 9 (1 : très mauvais, 9 : excellent) sur la base des deux paramètres : la délitescence est la tendance à coller. L'appréciation est effectuée par comparaison avec les photos témoin de la norme (Annexe 4).

La fermeté et la délitescence qui représentent l'état de surface des pâtes, peuvent être déterminées par la formule suivante :

$$ET = (t+6) + (T+11) / 2$$

- **Pertes à la cuisson (PC) :** représente la perte de la qualité sèche lors de la cuisson pour 100g de pâtes crues. Après avoir bouillir l'eau et l'avoir homogénéisée, prélever 25ml et le sécher à 120°C pendant 24 heures. On calcule les pertes à la cuisson (PC) à partir de la relation suivante :

$$Pc = Es * (V/25) * (100/100-H)$$

Où :

Es. Poids de l'extrait sec en gramme ;

V. Volume final de l'eau de cuisson en ml ;

H. Teneur en eau des pâtes crues en pourcent (%) ;

- **Capacité de fixation d'eau :** La capacité de fixation d'eau (C) rend compte de l'aptitude de la pâte cuite à retenir plus ou moins l'eau, elle est calculée comme suit :

$$C = (p-100) * 100 / (100-H-PC)$$

Où

P. Poids des pâtes cuites (g) ;

PC. Perte à la cuisson (g) ;

H. Teneur en eau des pâtes crues (%).

II.6 Etude analytique

Tous les essais de l'expérimentation, soient les mesures des paramètres physicochimiques et technologiques sont répétés deux fois.

Les données sont analysées à l'aide de logiciel : STATISTICA version 6. Les analyses statistiques effectuées sont :

- Une analyse de la variance qui permet de déterminer l'influence du facteur étudié (variété) sur les différents paramètres étudiés, au seuil de signification de 5% avec :

- ✓ $P \geq 0,005$: la différence entre les traitements est non significative,
- ✓ $0,05 < P < 0,01$: la différence entre les traitements est significative,
- ✓ $0,001 < P < 0,01$: la différence entre les traitements est hautement significative,
- ✓ $0,0001 < P < 0,001$: la différence entre les traitements est très hautement significative.

- Le classement des moyennes est déterminé par l'analyse des groupes homogènes de TUCKY au seuil de 5%.

- Une étude d'Analyse en composantes principales des différents paramètres (ACP) est réalisée pour déterminer l'influence des différents paramètres entre eux.



CHAPITRE III : RESULTATS ET DESCUSSION

Ce travail consiste à comparer huit variétés de blé dur introduites en Algérie dans le but de leur homologation en Algérie. Pour contribuer à cette homologation, la partie expérimentale est consacrée à l'étude des paramètres technologiques pour déterminer la qualité technologique de ces variétés.

1. Appréciation de la qualité technologique

L'objectif fixé pour cette étude est la détermination de la qualité technologique de ces nouvelles variétés de blé dur et les comparer au témoin SIMETO pour pouvoir les inscrire au catalogue national des variétés,

1.1 Caractéristiques physico-chimiques

1.1.1 Humidité des grains et de la semoule

La teneur en eau se définit comme étant la quantité en gramme d'eau rapportée à 100 g de substances sèches (teneur en eau % MS). Elle permet donc, de ramener tous les résultats à la même échelle de grandeur, à savoir, la matière sèche (Godon et Willm, 1998).

1.1.1.1 Humidité des grains

Les résultats relatifs à la teneur en eau des grains sont représentés dans le tableau 7.

Tableau 7. Teneur en humidité des graines des blés étudiés.

Variété	Hg	A	B	C	BC
SIMETO	16,41	a*****			
1	11,97		b*****		
3	11,86		b*****		
2	11,68		b*****	c*****	bc*****
4	11,50		b*****	c*****	bc*****
7	11,48		b*****	c*****	bc*****
6	11,39		b*****	c*****	bc*****
8	11,27		b*****	c*****	bc*****
5	10,85			c*****	
Moyenne			12,04		
Signification statistique			0,000000		
Ecart-type			1,49		

Les valeurs moyennes de la teneur en eau des variétés étudiées de blé dur sont comprises entre 10,85 et 16,41% MS, avec une moyenne de l'ensemble des variétés étudiées de 12,04% et un écart-type de 1,49. L'analyse de la variance (Annexe 1) présente un effet très hautement significatif ($P=0,000000$) sur le facteur variété. Le Test HSD de Tukey fait ressortir trois (03) groupes homogènes dont deux chevauchent entre eux (**BC** : V2, V4, V7, V6, V8) (tableau 7).

La valeur moyenne élevée de cette série de blé dur étudiée est enregistrée par la variété témoin SIMETO, la plus faible est enregistrée chez la nouvelle variété 6. Ces résultats montrent que les valeurs des huit (08) nouvelles variétés sont inférieures à la valeur de la variété témoin SIMETO. Les variétés 1, 3, 2, 4, 7, 6, 8, 5 ont enregistré des valeurs moyennes, de 11,97 ; 11,86 ; 11,68 ; 11,50 ; 11,48 ; 11,39 ; 11,27 ; 10,85%/ms respectivement. Ces résultats se situent dans l'intervalle rapporté par de nombreux auteurs variant entre 10% (Feinberget et *al.*, 1991) et 13,10% (Souci et *al.*, 1994). De ce fait on peut dire que ces variétés de blé (teneur en eau des graines inférieure à 13,10%) peuvent être stockées sans risque d'altération lié à ce paramètre à l'exception du témoin SIMETO qui a dépassé la norme à une valeur moyenne de 16%. En effet, l'humidité est très variable, elle dépend à la fois de la saison et la quantité d'eau à ajouter avant la mouture (les grains sont humidifiés jusqu'à 16 ou 17%) (Azudin, 1988). D'après Dubois (1994), l'humidité des grains est généralement comprise entre 12 et 14% si ces derniers sont cultivés dans de bonnes conditions agro-climatiques avant leur stockage en silo.

1.1.1.2. Humidité des semoules

Ce test donne des informations sur la stabilité de la décomposition de la semoule du moment de la récolte à son utilisation expérimentale (Azudin, 1988). Les valeurs moyennes de la teneur en eau des semoules issues de la mouture des huit variétés testées, sont représentées dans le tableau 8.

Tableau 8. Teneur en eau des semoules des blés étudiés.

Variété	Hs Moyenne	A	B	C	D
SIMETO	16,55	a*****			
5	12,80		b*****		
6	12,70		b*****		
4	12,68		b*****		
7	12,35			c*****	
8	12,34			c*****	
2	11,75				d*****
3	11,74				d*****
1	11,69				d*****
Moyenne	12,73				
Signification statistique	0,000000				
Ecart-type	1,33				

Les valeurs moyennes de l'humidité des semoules obtenues après mouture des grains des huit variétés étudiées, varient entre 11,69 et 16,80% /ms avec une moyenne de toutes les variétés de 12,73% et un écart-type de 1,33. Les différences de l'humidité des semoules peuvent être expliquées par plusieurs facteurs entre autres, la perte en eau lors de la mouture et l'homogénéité du mouillage lors du conditionnement.

L'analyse de la variance (annexe 1) pour ce paramètre indique un effet très hautement significatif de la variété. Le classement des moyennes par le test HSD de Tukey (tableau 8) distingue quatre (04) groupes homogènes distincts (A : SIMETO ; B : 5, 6, 4 ; C : 7, 8 ; D : 1, 2, 3). Le témoin SIMETO enregistre la valeur moyenne la plus élevée, la plus faible valeur moyenne est enregistrée chez la nouvelle variété 2. Les variétés 1,3, 2, 8, 7, 4, 6, 5 ont enregistré les valeurs moyennes, de 11,69 ; 11,75 ; 11,74 ; 12,68 ; 12,80 ; 12,70 ; 12,35 et 12,34 % respectivement, toutes inférieures à celle du témoin SIMETO (16,55 %). Ces nouvelles variétés étudiées se situent dans l'intervalle rapporté par de nombreux auteurs variant entre 10 % (Feinberg et *al.*, 1991) et 13.10 % (Souci et *al.*,1994), par ailleurs, l'humidité des semoules de ces nouvelles variétés est conforme à la norme algérienne ($\leq 14,50$) (JORADP N° 55/1997).

Les faibles teneurs en eau des nouvelles variétés étudiées peuvent être expliquées selon Feillet (2000), par le fait qu'en semoule, lors du conditionnement, les blés durs nécessitent la conservation d'une certaine dureté de l'amande. Cette pratique est obtenue par la création d'un gradient d'eau assez important de la teneur en eau des produits de la mouture. Selon Genas *et al.*, (1998), une semoule avec une teneur en humidité de 15%, commence à se dégrader après un mois de stockage, comme est le cas pour la variété Italienne SIMETO. En ce fait, les semoules des huit (08) nouvelles variétés sont aptes à être bien conservées, par contre pour la variété témoin elle va commencer à se dégrader après un mois de conservation. Les huit nouvelles variétés étudiées peuvent être arrivées à une consistance optimum de la pâte, d'après Grandvionnet et Praty (1994) qui a trouvé que plus la teneur en eau est faible ($H < 15,5\%$) plus il est possible d'ajouter de l'eau au cours du pétrissage pour arriver à une consistance optimum de la pâte.

1.1.2. Poids spécifique (PS)

La masse en hectolitre est appelée communément poids spécifiques (PS), permet la mesure de la densité du grain et indique le rendement possible en semoule d'un grade particulier de blé (Brenon, 1984).

Les résultats sont illustrés dans le tableau 9.

Tableau 9. Valeurs du poids spécifique des blés durs étudiés.

Variété	PS (kg/hl) Moyenne	A	B	C	D	E	BC	CD
8	82,75	a*****						
7	81,72	a*****						
SIMETO	81,37	a*****						
4	79,57		b*****					
5	78,57		b*****	c*****			bc*****	
1	77,57			c*****	d*****			cd*****
3	76,00				d*****			
2	73,62					e*****		
6	73,52					e*****		
Moyenne	78,29							
Signification statistique	0,000000							
Ecart-type	3,05							

Les valeurs moyennes du poids spécifique des variétés étudiées oscillent entre 73,52 kg/hl et 82,75 kg/hl, avec une moyenne des variétés de 78,29 kg/hls et un écart-type de 3,05. L'analyse de la variance (annexe 1) révèle un effet extrêmement important ($P=0,000000$) sur le facteur variété. En analysant les variables du test HSD de Tukey, on constate la présence de cinq (05) groupes homogènes, dont deux se chevauchent entre eux (tableau 9). La valeur moyenne la plus élevée se trouve chez la nouvelle variété 8, alors que la nouvelle variété 6 enregistre la valeur minimale. Les variétés 7 et 8, dont les valeurs moyennes sont de 81,72 et 82,75 kg/hls, se démarquent de la variété témoin italienne SIMETO.

Ces résultats sont inclus dans la fourchette suggérée par CALVEL (1984) qui est de 72-82 kg /hl, de ce fait, les blés durs étudiés, à l'exception de la variété 8 ($PS = 82,75\%$), peuvent opérer de bonne qualité et selon la classification de WILLIAMS (1998), ces blés appartiennent à la catégorie des blés très lourds, donc peuvent avoir un bon rendement. La connaissance du poids spécifique d'un blé est très importante dans les contrats commerciaux et les spécifications réglementaires. Plus le poids spécifique est grand plus le rendement de semoule est élevé (Kleijer et al., 2007). Selon Feillet, (2000) La présence d'impuretés de gros volume mais de faible densité (pailles, balles), provoque une diminution du Poids Spécifique. A l'inverse, la présence d'impuretés denses et de petit volume (cailloux) provoque son augmentation. Le poids spécifique est influencé, avant tout, par les conditions de culture notamment par le climat pendant la phase du remplissage des grains, mais une composante variétale existe (Bar et al., 2005). Des facteurs génétiques font également varier le poids spécifique par le biais de la forme géométrique et de la relation longueur et largeur du grain (Kleijer et al., 2007).

1.1.3. Poids de 1000 grain (PMG)

Les résultats de ce paramètre sont illustrés dans le tableau 10.

Tableau 10. Valeurs du PMG des variétés de blé étudiées.

Variété	PMG (g/ms) Moyenne	A	B	C	D	E	F	G
SIMETO	48,94	a*****						
8	41,17		b*****					
1	38,41			c*****				
3	37,05				d*****			
4	36,81				d*****			
7	36,66				d*****			
2	34,04					e*****		
5	33,38						f*****	
6	25,30							g*****
Moyen		36,86						
Signification statistique		0,000000						
Ecart- type		5,66						

Les valeurs moyennes du PMG des huit variétés étudiées varient entre 25,30 g/ms et 48,94 g/ms avec une moyenne de toutes les variétés de 36,86 g/ms et un écart-type de 5,66. La variété SIMETO présente la valeur moyenne la plus élevée 48,94 g/ms, la nouvelle variété 8 à une valeur de 41,17 g/ms. L'analyse de la variance (annexe1) met en évidence un effet très hautement significatif ($P=0,000000$) de la variété. Le test de Tukey a mis en évidence (07) sept groupes homogènes distincts (tableau10).

Les valeurs moyennes des huit nouvelles variétés 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8 sont de 38,41 ; 34,04 ; 37,05 ; 36,81 ; 33,38 ; 25,30 ; 36,66 ; 41,17 g/ms, respectivement, sont inférieures à celle du témoin SIMETO. Ces valeurs moyennes enregistrées sont dues aux chutes des températures nocturnes survenues du 20 Avril au 10 mai 2022 et qui ont coïncidé avec le remplissage de grain donc, ont fortement influencé le poids de mille grains (PMG) des lignées ainsi que le rendement.

Le PMG joue un rôle crucial dans le rendement semoulier du blé dur. Selon Bennerot et Galais (1992), le poids de mille grains est un critère variétal pouvant subir des fluctuations liées particulièrement à l'échaudage, accident physique dû à un déficit hydrique ayant par conséquence un dessèchement du grain mûr. En se référant à la classification de Godon et Willm (1991) qui ont estimé la taille des grains de blé en fonction de leur PMG (Tableau 11) en 3 classes : petits ($24 < \text{PMG} < 34$), moyens ($35 < \text{PMG} < 56$) et gros ($46 < \text{PMG} < 56$).

Tableau 11. Classement des variétés de blé dur en fonction de leur PMG selon Godon et Willm (1991).

Classement	Variétés
Petits (24<PMG<34)	2, 5, 6
Moyenne (35<PMG<PMG<46)	1, 3, 4, 7, 8
Gros (46<PMG<56)	SIMETO

Selon la classification de Godon et Willm (1991), les trois nouvelles variétés 2, 5, 6 ont des petits grains, tandis que les autres nouvelles variétés 1, 3, 4, 7, 8 ont des grains de taille moyenne, enfin seul la variété témoin SIMETO possède de gros grain. La taille des grains est un facteur important de la valeur semoulière des blés durs.

Les variétés à gros grains sont très appréciées car elles donnent généralement des meilleurs rendements en semoules que celles à grains petits (Matsuo et Dexter, 1980b ; Lempereur et *al.*, 1997), comme est le cas pour la variété témoin SIMETO.

Selon Sangata et *al.*, (2007), le PMG est influencé par les facteurs agronomiques et environnementaux qui entraînent la synthèse et l'accumulation plus ou moins importante des protéines de réserve dans l'albumen. Selon Whan et *al.*, (1996), le PMG est influencé par la durée de remplissage du grain dépendant plus des conditions environnementales que de génotype.

Néanmoins, la qualité du grain de blé dur et le rendement sont affectés par l'échaudage en fin de cycle et le manque d'eau pendant la phase de remplissage du grain. De plus, il est un indicateur de mode d'élaboration, de rendement et des problèmes rencontrés par le blé lors de la phase de remplissage tels que le sirocco et les attaques des insectes ou de certaines maladies cryptogamiques (Wang et *al.*, 2012).

1.1.4. Taux de moucheture

Un blé moucheté est un blé présentant des taches brunes ou noires dans le sillon ou sur le germe, défaut très préjudiciable pour les blés durs (Feuillet, 2000). Ces taches sont généralement causées par des champignons (Machix, 1996) ou par les piqûres de trips (Alous et Abecassis, 1979).

Les valeurs moyennes de ce paramètre sont illustrées dans le tableau 12.

Tableau 12. Taux de moucheture des grains de blé dur étudiés.

Variété	T moucheture (%)	A	B
1	2,25	a*****	
8	0,00		b*****
6	0,00		b*****
5	0,00		b*****
4	0,00		b*****
3	0,00		b*****
2	0,00		b*****
7	0,00		b*****
SIMETO	0,00		b*****
Moyen	0,25		
Signif. stat	0,000000		
Ecart-type	0,67		

Les valeurs moyennes du taux de moucheture des grains des blés durs étudiés sont de 0% pour toutes les variétés sauf pour la variété 1 qui a enregistré 2,25%, avec une moyenne des variétés de 0,25% et un écart-type de 0,67. En se référant à la norme établie par Bar (1995) et qui est inférieure à 5%, les variétés étudiées ont une tolérance élevée à la moucheture.

L'analyse de la variance (annexe 1) révèle un effet très significatif ($P=0,000000$) de la variété. Le test de Tukey a mis en évidence deux groupes homogènes distincts (tableau 12).

Selon Macheix (1996), l'altération de la couleur superficielle due à des champignons tels que *Alternaria alternata* et le *Drechslera tritici-repentis* ne présente aucun danger toxicologique, mais elle constitue un grave défaut de qualité pour le blé dur. D'après Hamadache (2013), elle semble être favorisée par un taux élevé d'humidité entre la floraison et le stade grain laiteux. Arvalis (2014) rajoute aussi que toute humidité au niveau des épis, au cours de la première partie du remplissage, favorise la moucheture.

1.1.5 Taux de mitadinage

C'est la présence d'une plage farineuse au sein de l'albumen en amylopectine vitreux. C'est l'accident physiologique le plus fréquent chez le blé dur. Les valeurs moyennes du taux de mitadinage des variétés étudiées sont illustrées dans le tableau 13.

Tableau 13. Valeur du taux de mitadinage des variétés de blé étudiées.

Variété	Taux de mitadinage (%) Moyenne	A	B	C
5	2,62	a*****		
1	0,53		b*****	
8	0,00			c*****
6	0,00			c*****
4	0,00			c*****
3	0,00			c*****
2	0,00			c*****
7	0,00			c*****
SIMETO	0,00			c*****
Moyenne		0,35		
Signification statique		0,000000		
Ecart-type		0,77		

Les valeurs moyennes du taux de mitadinage des blés durs étudiés sont de 0% sauf pour la variété 1 qui a enregistré 0.53% et la 5 qui a enregistré 2,62%, avec une moyenne des variétés de 0,35% et un écart-type de 0,77. La nouvelle variété 5 affiche la valeur maximale, alors que la variété témoin enregistre la valeur minimale. En se référant à la norme établie par Selselt (1991) et qui est inférieure à 5%, les variétés étudiées présentent une tolérance importante au mitadinage.

L'analyse de la variance (annexe 1) met en évidence un effet extrêmement significatif de la variété ($P=0,000000$). Trois (03) groupes homogènes distincts (A : 5, B : 2 ; C : 3, 4, 5, 6,8 et SIMETO) ont été identifiés par le test de Tukey (tableau 13).

Ces variétés sont supposées être de bonne qualité de semoule. Le taux de mitadinage varie selon les variétés et peut-être provoqué par des champignons ou de piqûres de thrips ou par les conditions climatiques particulièrement aux moments de la floraison (Bar, 1994) et il est très lié à la nutrition azotée tardive (pré-et post-floraison) et à la composition protéique des grains qui en résulte. L'apport d'azote fractionné avec un apport tardif (floraison) améliore la teneur en protéines et diminue de façon significative le mitadinage (Samson et *al.*, 2004). Le taux de mitadinage est un critère d'appréciation déterminant pour le rendement et la qualité de la semoule et des produits dérivés (pâtes, couscous).

1.1.6 Le taux d'extraction

Le taux d'extraction représente le pourcentage de semoule extraite à partir de la mouture de 100 kg de blé dur propre. Les valeurs moyennes des neuf variétés étudiées de ce paramètre sont illustrées dans le tableau 14.

Tableau 14. Taux d'extraction des blés durs étudiés.

Variété	TE % Moyenne	A	B	AB
7	56,56	a***		
8	56,09	a***	b***	ab***
2	55,37	a***	b***	ab***
1	54,71	a***	b***	ab***
5	53,84	a***	b***	ab***
3	50,28	a***	b***	ab***
SIMETO	46,00	a***	b***	ab***
4	43,87	a***	b***	ab***
6	42,97		b***	
Moyenne		51,08		
Signif. Stat		0,01		
Ecart-type		4,88		

Les valeurs moyennes des taux d'extractions se situent entre 42,97 et 56,56 %, avec une moyenne des variétés de 51,08 % et un écart-type de 4,88. La valeur moyenne élevée est enregistrée par la nouvelle variété 7, tandis que la nouvelle variété 6 a enregistré une valeur moyenne basse, telle que présentée dans le tableau 14. L'analyse de la variance (annexe 1) met en évidence un effet significatif ($P = 0,01$) de la variété. D'après les données du test de HSD de Tukey (tableau 14), il ressort deux groupes homogènes qui se superposent entre eux

(AB : SIMETO, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 8). Les variétés 6, 4, SIMETO, 3, 5, 1, 2 ont des valeurs moyennes de 24,97 ; 43,87 ; 46,00 ; 50,28 ; 53,84 ; 54,71 et 55,37 %, respectivement, donc présentent de faibles rendements en semoules. En effet, le rendement en semoule doit être entre 60 et 70% (Bourdet, 1976). Les valeurs de taux d'extraction obtenues sont en accord avec les travaux faits par Abidi (2009), qui rapporte que les rendements en semoule des variétés cultivées dans le site de Tiaret sont plus faibles que celles de Sétif.

Ces valeurs sont inférieures à celles trouvées par Sapirotein et *al.*, (2007) (taux moyen de 75%) ; Ohm et *al.*, (2010) (taux d'extraction moyen de 64,9%) et Ladraa, (2012) (taux d'extraction moyen de 68,30%).

La taille des grains est considérée comme un facteur important dans la valeur semoulière des blés durs (Lempeur et *al.*, 1997), les variétés à gros grains sont généralement préférées aux variétés à petit grain, car ceux-ci, donnent toujours un rendement en semoule supérieur. Ce qui n'est pas le cas pour la variété témoin SIMETO qui est la seule à gros grain, mais de faible taux d'extraction, cela peut être expliqué par le taux d'humidité initiale des grains élevé (16 %) qui est dû à un mauvais conditionnement ou à des conditions de stockage non valables ou à la sur culture de cette variété.

Cependant les faibles taux d'extraction peuvent être expliqués par le génotype ou par le moulin (réglage et type du moulin), ou également par les faibles PMG qui résultent d'un grain échaudé (Porceddu, 1995).

Trois groupes de facteurs principaux déterminent le taux d'extraction de la semoule. Certains de ces facteurs sont liés aux conditions de culture et de récolte comme la teneur en eau, le taux d'impuretés ou le taux de grains cassés, d'autres semblent plus influencés par des facteurs variétaux et agronomiques comme le rapport pondéral albumen sur enveloppe (Ripetti-Ballester et *al.*, 2000). Néanmoins, il est possible que la diminution et la répartition inégale des matières minérales peuvent informer sur le taux d'extraction en semoules, en effet, selon Godon et Willm, (1991), les grains de blé riches en éléments minéraux ont un taux d'extraction plus faible que ceux qui sont pauvres en éléments minéraux. Ce qui pourrait être la cause des résultats obtenus de ce travail.

La différence entre ces taux d'extraction pourrait être expliquée par une adhésion excessive entre les téguments et l'endosperme rendant difficile la séparation de manière satisfaisante du son au cours des stades de broyage, entraînant une diminution du rendement en semoules (Cubadda, 1988).

Les deux nouvelles variétés 6 et 7, avec des rendements moyens de 56,09 et 56,56 %, sont les plus performantes dans cette collection de blé dur.

1.1.7 Taux de cendres

Le taux de cendres est un critère d'appréciation de la pureté des semoules qui dépend d'un grand nombre de facteurs (agronomiques, lieu de culture, fertilisation...etc).

Les valeurs moyennes de taux de cendres pour ces blés durs analysés sont illustrées dans le tableau 15.

Tableau 15. Taux de cendres des blés durs étudiés.

Variété	TC % Moyenne	A	B	C	D	E	F
6	1,88	a*****					
2	1,83	a*****					
3	1,57		b*****				
8	1,33			c*****			
SIMETO	1,18			c*****			
5	0,94				d*****		
7	0,91				d*****		
4	0,70					e*****	
1	0,37						f*****
Moyen	1,19						
Signif.stat	0,000000						
Écart-type	0,45						

Les valeurs moyennes de taux de cendres des variétés étudiées sont comprises entre 0,37 % et 1,88 % enregistrées chez les variétés 1 et 6, respectivement, avec une moyenne des variétés de 1,19 % et un écart-type de 0,45. L'analyse de la variance (annexe 1) présente un effet très hautement significatif ($P = 0,0000$) sur le facteur variétés. Le test de comparaison de tukey (tableau 15) fait ressortir six (06) groupes homogènes distincts (A : 6, 2 ; B : 3 ; C : 8 et SIMETO ; D : 5 et 7 ; E : 4 ; F : 1).

Les résultats des variétés 1, 4, 7, 5 et SIMETO sont conformes à la norme codex STAN 178- 1991 de semoule qui fixe sa teneur en cendres maximum de la semoule de blé à 1,3 %, l'entreprise ERIAD (Sétif) préconise un taux de cendres inférieur à 0,92 %. Pour les variétés 6, 2, 3, 8 et SIMETO ont des valeurs, respectivement, de 1,88 ; 1,83 ; 1,57 ; 1,33 et 1,18 % donnent des valeurs élevées par rapport aux normes Codex STAN 178- 1991 et ERIAD

(Sétif). Tant dis que les variétés 5, 7, 4 et 1 ont des valeurs moyennes, respectivement, 0,94 ; 0,91 ; 0,70 et 0,37 %, et enregistrent des valeurs inférieures à la norme Codex STAN 178-1991 des semoules.

L'ensemble des variétés étudiées pouvant avoir une bonne coloration des semoules et des pâtes, et une coloration brune faible selon Taha et Sagi (1987), qui rapporte qu'une teneur élevée en cendres dans la semoule peut provoquer une coloration brune, ce qui diminue la couleur jaune de la semoule et des pâtes. De plus, la teneur en cendres est influencée à la fois par, les conditions de culture de la station, l'origine génétique, l'année de récolte et le lieu de récolte (Abecassis et Feillet, 1985 ; Petrerson et *al.*, 1986).

1.8. La teneur en protéines totales

La connaissance de la teneur en protéines associée à celle de la variété du blé, donne une bonne information sur la qualité technologique de la semoule (Veraverbeke et Delcour, 2002). Les valeurs moyennes des teneurs en protéines totales des blés durs étudiés sont illustrées dans le tableau 16.

Tableau 16. Taux de protéines des blés durs étudiés.

Variété	TP %	A	B	C	AB	ABC	BC
SIMETO	17,77	a****					
8	17,41	a****	b****		ab****		
5	17,14	a****	b****	c****		abc****	
3	16,88	a****	b****	c****		abc****	
2	16,83	a****	b****	c****		abc****	
6	16,45	a****	b****	c****		abc****	
4	16,26		b****	c****			bc****
7	15,69			c****			
1	15,68			c****			
Moyenne		16,67					
Signif. stat		0,003259					
Ecart-type		0,68					

Les valeurs moyennes du taux de protéines des variétés examinées se situent entre 15,68 % et 17,77 %, avec une moyenne de 16,67 % et un écart-type de 0,68.

La valeur moyenne maximale est enregistrée par la variété témoin SIMETO et la valeur moyenne faible est enregistrée par la nouvelle variété 1. Les variétés étudiées peuvent être d'une bonne qualité pastière. Selon Autran (1996), affirmant qu'une valeur de 11 à 13%MS de protéines dans la semoule est nécessaire à la fraction de pâte alimentaire de qualité requise. L'analyse de la variance (Annexe 1) présente un effet très hautement significatif ($P = 0,00000$) sur le facteur variétés. Le test de comparaison de Tukey (tableau 16) révèle la présence de trois (03) groupes homogènes qui se superposent. Les protéines des semoules ont un rôle technologique plutôt que nutritionnel, en dépit de cela, elles jouent un rôle important dans la qualité des pâtes alimentaires à la fois par leur teneur et par leurs propriétés fonctionnelles (Dick et Matsuo, 1988).

Selon la classification de Williams et *al.*, (1988), les variétés SIMETO, 5 et 8, présentent des taux de protéines, respectivement, de 17,77 ; 17,41 et 17,14 %, enregistrant des valeurs extrêmement élevées (supérieures à 17 %). Tandis que les variétés 1, 7, 4, 6, 2, 3 ont des taux de protéines, respectivement, de 16,88 ; 16,83 ; 16,45 ; 16,26 ; 15,69 et 15,68 %, qui sont des taux très élevés (15,6 à 17 %). Ces variétés peuvent être classées, selon la teneur en protéine, en deux classes différentes : extrêmement élevées et très élevées (Tableau 17).

Tableau 17. Classement des variétés selon Williams et *al.*, 1988.

Classement	Variétés
Extrêmement élevées (supérieures à 17 %).	SIMETO, 5 et 8,
Très élevée (15,6 à 17%).	1, 7, 4, 6, 2, 3

Les variétés étudiées prouvent avoir de meilleures qualités culinaires des produits finis selon (Selselet, 1991), qui rapporte que plus une semoule contient des protéines, meilleure sera la qualité des produits finis. Cependant, la qualité de la semoule obtenue est meilleure selon Autran, (1996), qui explique que les teneurs en protéines jouent un rôle important dans la qualité rhéologique des semoules parce que c'est à partir de cette fraction que se forme le gluten.

1.2 Caractéristiques technologiques des semoules

1.2.1 Indices de coloration

Les indices de coloration représentés par l'indice de jaune (IJ) et l'indice de brun (IB) constituent un facteur déterminant de la qualité organoleptique et sont dus à la fois à la présence dans le blé des pigments caroténoïdes et aux réactions du brunissement, leurs interactions conférant la couleur caractéristique de semoule et des pâtes (Mahaut, 1996).

1.2.1.1. Indice de jaune des semoules

Les résultats de l'indice de jaune des neuf variétés analysées sont représentés dans le tableau 18.

Tableau 18. Indice de jaune des variétés du blé dur étudiées.

Variété	Ij	A	B
SIMETO	35,90	a*****	
7	16,91		b*****
4	16,37		b*****
5	16,21		b*****
8	16,17		b*****
6	15,54		b*****
2	15,11		b*****
3	14,99		b*****
1	14,30		b*****
Moyenne		17,94	
Signif. Stat		0 .000000	
Ecart-type		6,06	

Les valeurs moyennes de l'indice de jaune (Ij) des semoules analysées sont comprises entre 14,30 et 35,90 % avec une moyenne des variétés de 17,94 et un écart-type de 6,06. La valeur moyenne maximale enregistrée par la variété témoin SIMETO et la valeur moyenne minimale par la nouvelle variété 1. L'analyse de la variance (annexe1) révèle un effet très hautement significatif ($P = 0.000000$) du facteur variétés. Deux (02) groupes homogènes distincts sont détectés par le test de HSD de Tucker (tableau 18).

Le classement des valeurs de l'indice de jaune, se basant sur les critères établis par Ropoulos et *al.*, 1981 qui stipulent que pour les semoules : indice de jaune élevé > 35, moyen 28 à 35 et faible < 28. On peut déduire que mis à part du témoin qui possède un indice de jaune élevé le reste des variétés ont donné un indice de jaune très faible (tableau 19), par conséquent on peut lier cette observation au fait que les teneurs en pigments caroténoïdes peuvent diminuer au cours du stockage et de la mouture après la transformation du blé en semoule (Feillet, 1986 ; Demarchi, 1994).

Tableau 19. Classement des variétés étudiées selon l'indice de jaune.

Classement	Variétés
(Ij) élève (Plus de 35)	SIMETO (35,90)
(Ij) faible (< 28)	1,3, 2, 6,8,5, 4, 7,8

Les faibles colorations jaunes des variétés 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8 peuvent être expliquées selon Fratianni et *al.*, (2005) par des faibles teneurs en pigments caroténoïdes et aux faibles réactions de bruissement enzymatiques et non enzymatiques. En outre, la coloration est influencée par les caractéristiques des blés utilisés (Laignelet et *al.*, 1972). Des études sur 5 variétés de blé dur allemandes, ont montré que la variation de l'indice de jaune est attribuée aux facteurs génétiques (25 %), mais aussi, il est fortement influencé par le milieu de culture (36 %), et par l'interaction site et années de culture (23 %) (Kling et *al.*, 2000). Cependant, D'Egedio (1996) affirme que l'indice de jaune est un facteur variétal et ne dépend que légèrement du milieu de culture.

D'après Kobrehel et *al.*, (1974) ; Taha et Sagi, (1987), Les activités des peroxydases (POD) et des polyphénoloxydases (PPO), avec la teneur en cendres, sont les principaux facteurs qui contribuent à la couleur brune de la semoule. Les réactions de peroxydation des acides gras insaturés contenus dans la semoule contribuent à augmenter le phénomène de brunissement (Laignelet, 1979). La diminution de l'activité de cet enzyme (POD) se fait, par la sélection de variétés à faibles quantités ou la mise en œuvre de technologies appropriées (purification des semoules durant la mouture et application de températures élevées en début de séchage) qui ont des effets intéressants sur la coloration.

1.2.1.2. Indice de brun des semoules

L'indice de brun est une caractéristique variétale, influencé par le milieu de cultures (facteurs climat, sol, techniques culturales, etc.)(Trentesaux, 1995).Les résultats d'indice de brun des blés durs étudiés sont enregistrés dans le tableau 20.

Tableau 20. Indice de brun des blés durs étudiés.

Variété	Ib (%) MYENNE	1	2	3
7	16,87	a*****		
2	16,77	a*****		
4	16,66	a*****		
5	16,17	a*****		
8	15,95	a*****		
6	15,59	a*****	b*****	ab*****
1	15,56	a*****	b*****	ab*****
3	13,96	a*****	b*****	ab*****
SIMETO	12,06		b*****	
Moyenne	15,51			
Signifi.stat	0,000000			
Ecart-type	1,40			

Les valeurs moyennes de l'indice de brun des variétés étudiées variant de 12,06 à 16,87 %, avec une moyenne de 15,51 % et un écart-type de 1,40. La valeur maximale (16,87) est enregistrée pour la nouvelle variété 8, tandis que la valeur moyenne de SIMETO est de 12,06, ce qui en fait la valeur minimale. D'après les résultats obtenus, la variété SIMETO affiche la valeur la plus faible à 12,06 % par rapport aux autres variétés. D'après l'analyse de la variance (annexe 1), le facteur variétés a un effet très significatif (P = 0.000000). Le test de HSD de tukey met en évidence trois (03) groupes homogènes qui se superposent entre eux (Tableau 20).

Horiaropoulos et *al.*, (1980) ont constaté que l'indice de brun est élevé pour un indice supérieur à 21, moyen entre 18 et faible pour < 18. En conséquence, ce qui affirme que toutes les variétés étudiées ont un indice de brun faible.

III.1.2.2 Test de sédimentation en milieu SDS

Le test de sédimentation en milieu en SDS exprimé en ml, donne un indicateur global sur la qualité du gluten de blé dur (Dick et Quick, 1983).

Les résultats de taux de sédimentation en milieu SDS des blés durs étudiés sont illustrés dans le tableau 21.

Tableau 21. Taux de sédimentation des variétés de blé dur étudiées.

Variété	SDS (ml) Moyenne	A	B	C	D	E	F	AB	AC
5	51,50	a****							
7	51,00	a****							
8	48,50	a****	b****					ab****	
1	48,50	a****	b****					ab****	
3	43,50	a****		c****					ac****
4	42,50	a****		c****					ac****
2	41,50				d****				
SIMETO	32,50					e****			
6	21,50						f****		
Moyenne		42,33							
Signif .stat		0,0000000							
Ecart-type		8,76							

Les valeurs moyennes des volumes de sédimentation des variétés testées varient entre 21, 50 ml et 51,50 ml, avec une moyenne de 42,33ml et un écart-type de 8,76. La nouvelle variété 5 présente une valeur maximale (51,50) et la nouvelle variété 6 présente une valeur minimale (21,50). Les faibles valeurs de SDS seraient dues à la faible quantité de la fraction glutamine. L'analyse de la variance (annexe1) révèle un effet très significatif ($P = 0.000000$) du facteur variété. Le test de HSD de Tukey montre six (06) groupes qui se chevauchent entre eux et sont représentés dans le tableau 21.

ROYO et *al.*,(2009) ont classé les variétés de blé dur en fonction de leur volume de sédimentation SDS, en effet, un volume SDS < 30ml indique un gluten faible et un volume SDS ≥ 35 ml indique un gluten fort. De ce fait, de ce fait, la nouvelle variété 6 est une variété à un gluten faible, et les nouvelles variétés 2, 3, 4, 5, 7, 8 indiquent un gluten fort.

En se référant aux normes données par l'ITGC (1979), les variétés étudiées peuvent être classées en deux catégories : moins de 18 ml : valeur pastière insuffisante est de 18 à 28 ml : bonne valeur pastière, les volumes des variétés étudiées sont supérieurs à ces normes, dans ce cas, on peut dire que les variétés étudiées peuvent être de bonne qualité pastière pour les variétés ayant un volume SDS entre 18 et 28 et très bonne pour celles ayant un SDS supérieur à 28 ml.

Selon Jeantete et *al.*, (2007), la hauteur de la sédimentation est déterminée par la quantité d'eau absorbée et le gonflement des protéines, ainsi que par la quantité et la qualité du gluten. En effet, les Gluténines de haut poids moléculaire jouent un rôle dans le gonflement des protéines en présence de SDS, et non les gliadines (Payne et *al.*, 1984). Cependant, pour éviter l'influence de quantité et de la qualité des protéines sur le test de sédimentation-SDS, il est préférable d'utiliser le SDS index qui est le rapport entre le volume SDS et la teneur en protéines (Miliams et *al.*, 1988), Dexter et *al.*, (1980) et Boggini et *al.*, (1997) ont trouvé que le test de SDS est influencé aussi bien par le génotype que par le milieu de culture.

III.1.2.3. Le rapport SDS/Protéines au SDS index

Les valeurs du rapport SDS/Protéines sont représentées dans le tableau 22.

Tableau 22. Rapport SDS/teneur en protéines (SDS index).

Variétés	Rapport SDS	Protéiné	Rapport SDS/ protéines
7	51,00	15,69	3,25
1	48,50	15,68	3,09
5	51,50	17,14	3,00
8	48,50	17,41	2,78
4	42,50	16,26	2,61
3	43,50	16,88	2,57
2	41,50	16,83	2,46
SIMETO	32,50	17,77	2,07
6	21,50	16,45	1,39

Les valeurs moyennes du rapport SDS/Protéines varient entre 1,39 et 3,25. La nouvelle variété 7 a enregistré la valeur maximale et la valeur minimale est enregistrée par la nouvelle variété 6. Cependant, les nouvelles variétés ont un rapport SDS/protéines plus élevé

que la variété témoin SIMETO en particulier pour la nouvelle variété 6 qui a enregistré la valeur la plus faible à 1,39. Selon Madani., 2023 (Communication personnelle), un SDS index supérieur à 2 contient une bonne qualité de gluten. Donc les variétés SIMETO, 1, 2, 3, 4, 5, 7 et 8 possèdent des bonnes qualités de gluten contrairement à la nouvelle variété 6.

III.1.2.4. Taux de gluten

Le gluten est le constituant protéique le plus important de la semoule, composé majoritairement de gliadines et de Gluténines.

III.1.2.4.1 Gluten humide

Les résultats obtenus sont regroupés dans le tableau 23.

Tableau 23. Teneur en gluten humide des blés durs étudiés.

Variété	GH (%)	A	B	C	D	BC
2	54,51	a*****				
3	46,95		b*****			
5	46,46		b*****	c*****		bc*****
SIMETO	45,55		b*****	c*****		bc*****
1	42,61		b*****	c*****		bc*****
4	41,27		b*****			
8	40,97		b*****			
7	32,64				d*****	
6	32,51				d*****	
Moyenne	42,60					
Signif. Stat	0,000002					
Ecart-types	6,24					

Les valeurs moyennes des variétés étudiées présentent des teneurs en gluten humide comprises entre 32,51 % et 54,51 %. La nouvelle variété 2 a donné la valeur maximale et la nouvelle variété 6, a donné la valeur minimale. L'analyse de la variance (annexe 1) montre un effet moyen très hautement significatif ($P = 0.000002$) du facteur variétés. Le test de HSD de tukey fait ressortir quatre (04) groupes homogènes qui se chevauchent entre eux (Tableau 23).

D'un point de vue qualitatif, les teneurs en gluten humide de toutes les variétés étudiées sont supérieures à la norme de Delachaux (1983), qui fixe la teneur minimale en gluten humide à 27,85%.

D'après Popineau (1992), les propriétés viscoélastiques du gluten dépendent principalement d'un ensemble complexe d'interactions entre protéines de réserve monomérique (gliadine) et polymérique (Gluténines). Ainsi les Gliadines et Gluténines du blé sont capables en présence d'eau de s'associer pour former un réseau, lui-même insoluble dans l'eau, appelé réseau glutineux ou gluten. Ce réseau est doué de propriétés rhéologiques et permet de plus à la pâte de retenir le gaz CO₂ issu de la fermentation (Delfrate et Stephan, 2005). En effet, il est admis que la qualité des blés durs est largement influencée par les caractéristiques du gluten.

III.1.2.4.2 Teneur en gluten sec

Les résultats du taux de gluten sec sont illustrés dans le tableau 24.

Tableau 24. Taux de gluten sec des variétés de blé dur étudiées.

Variété	GS (%)	A	B	C	D	E	F	Ab	abc	bcd	cd	df
2	17,31	a*****										
3	16,90	a*****	b*** *					ab*** *				
5	16,51	a*****	b*** *	c*****					abc*** *			
1	15,76		b*** *	c*****	d*** *					bcd*** *		
SIMETO	15,59			c*****	d*** *						cd*****	
4	14,70				d*** *	e*****						df*****
8	14,14					e*****						
7	11,90						f*****					
6	11,20						f*****					
Moyenne	14,89											
Signif. Stat	0,000000											
Ecart-type	1,92											

Les résultats de la teneur en gluten sec des blés durs étudiés sont compris entre 11,20 % et 17,31 %. La valeur maximale enregistrée chez la nouvelle variété 3 tandis que la nouvelle variété 6 a enregistré la valeur minimale. L'analyse de la variance (annexe1) indique un effet très hautement significatif ($P=0.000000$) du facteur variétés. Le test de HSD de tukey révèle six (06) groupes homogènes (tableau 24).

Selon D'egidio et *al.*, (1979), les semoules ayant des teneurs en gluten sec supérieures à 13 % peuvent fournir un excellent produit fini (pâtes alimentaires), tandis que pour celles dont les valeurs sont inférieures à 11 % sont de qualité insuffisante. Les variétés 1, 2, 3, 5, 4, SIMETO, 8 peuvent fournir des excellents produits finis. Les valeurs moyennes des nouvelles variétés 1, 2, 3, 5 sont supérieures aux valeurs du témoin.

III.1.2.4.3. Gluten index

Les résultats du gluten index sont inscrits dans le tableau 25.

Tableau 25. Teneur en gluten index des blés durs étudiés.

Variété	G. index (%)	1	2	3	4	5	6	7	8
7	81,59	****							
4	59,91	****							
SIMETO	45,74		****						
8	40,43		****	****					
6	16,31			****	****				
5	14,42			****	****				
3	12,58			****	****				
1	7,29				****				
2	5,36				****				
Moyenne		31,51							
Signif. Stat		0,000027							
Ecart-type		23,97							

La teneur en gluten index des blés durs testés varie entre 81,59 et 81,59 % avec une moyenne de 31,51 % et un écart-type de 23,97. La valeur maximale est enregistrée par la nouvelle variété 7, la variété 2 a enregistré la valeur minimale. L'analyse de la variance (annexe 1) pour ce paramètre indique un effet très hautement significatif de la variété ($P = 0,000027$). La comparaison des moyennes a révélé huit (08) groupes homogènes qui se chevauchent entre eux (tableau 25).

Selon Cubadda et *al.*, (1992), un gluten de force doit avoir un gluten index compris entre 66 et 85 %. Seule la variété 7 (avec une valeur de 81,59 %) comprend un gluten de force. Plus le taux de gluten augmente, plus les pâtes montrent une élasticité élevée.

III.1.2.4.4 Capacité d'hydratation

Les résultats de ce paramètre sont illustrés dans le tableau 26

Tableau 26. Capacité d'hydratation des semoules des blés durs étudiés.

Variété	C % Moyenne	A	B	C	AB
2	68,20	a*****			
SIMETO	65,73	a*****	b*****		
8	65,47	a*****	b*****		ab*****
5	64,44	a*****	b*****		ab*****
4	64,36	a*****	b*****		ab*****
3	63,97	a*****	b*****		ab*****
7	63,53		b*****		
1	63,01		b*****		
6	50,50			c*****	
Moyenne	63,24				
Signif. Stat		0,000006			
Ecart-type		4,48			

La capacité d'hydratation des semoules des variétés étudiées varie entre 50,50 % et 68,20 %. La valeur maximale est enregistrée par la nouvelle variété 3 et la valeur minimale par la nouvelle variété 6. L'analyse de la variance (annexe 1) indique un effet très hautement significatif ($P = 0,000006$) du facteur variétés. Le test de HSD de tukey révèle quatre (04) groupes homogènes (tableau 26).

La capacité d'hydratation est très importante dans la qualité du blé ; plus l'absorption de l'eau est élevée, le rendement en pâte ou en pain est meilleur. Une farine contenant une faible quantité du gluten, s'hydrate facilement et devient moins élastique et plus visqueuse par rapport à la farine qui a une grande quantité du gluten (Feillet, 2000). Lecoq (1965), a fixé le coefficient d'hydratation d'un gluten comprise entre 62 et 69 % pour un blé de qualité. A la lumière de ces résultats, toutes les variétés étudiées possèdent une capacité d'hydratation de bonne qualité, sauf pour la nouvelle variété 6, qui a marqué une valeur inférieure à 62 %.

III.1.2.4.5 Test au mixographe

Ce test permet de déterminer quelques propriétés importantes de la pastification et de la panification des cultivars de blé dur en mettant en évidence en particulier la force du gluten.

Les résultats obtenus de ce test sont rassemblés au tableau 27 selon les normes de mixographe de Williams et *al.* (1988). Les mixogrammes obtenus sont consignés dans l'annexe 2.

Tableau 27. Résultats du mixogramme des blés durs testés.

Variétés	Temps de développement	Hauteur du pic	Affaiblissement
8	2.50	52.63	6.15
7	3.4	44.78	3.51
6	2.4	50	0.88
5	2.3	60.52	4.68
4	3.8	44.73	0.88
3	2.4	47.36	0.87
2	2.4	51.75	1.75
1	2.8	38.59	2.63
SIMETO	2.4	46.4	0.88

L'utilisation du " grading " de Williams et *al.*, (1988) (annexe 2) pour apprécier la force des blés étudiés, permet de dire que : les valeurs de la hauteur de la pente des variétés (tableau 27) sont comprises entre 38.59 % et 60.52 %. La valeur maximale est enregistrée chez la nouvelle variété 6 et la valeur minimale par la nouvelle variété 1. Seule la variété 5 présente une bonne consistance de la pâte. Le temps de développement des variétés est compris entre 2,3 et 3,8 minutes enregistrées chez les variétés 5 et 4, respectivement.

Tableau 28. Classification des temps de développement des variétés étudiées selon Williams et *al.*, 1988.

Faible (1,5-2,4)	Moyenne (2,5-3,3)	Fort (3,4-4,4)
Variété 3 Variété 2 Variété 6 Variété 5	Variété 8 Variété 1	SIMETO Variété 7 Variété 4

Le tableau 28, indique que le temps de développement des variétés 1, 2, 3, 5, 6, 8, sont supérieurs à celles du témoin, ce dernier contient un temps de développement faible.

Quant à l'affaiblissement de la pâte, il varie de 0,87 à 6,15 % chez les variétés 3 et 8. Ces variétés tolèrent le sur pétrissage. D'après Kovacs et *al.*, (1997), la hauteur du pic obtenu au mixographe est le meilleur critère d'appréciation de la fermeté des pâtes de blé dur. Selon Mebtouche (1998), les paramètres qui régissent l'expression des résultats sont principalement le temps de développement ou le temps de pétrissage qui pourraient caractériser la force (exprimée en minutes ou en millimètres) et la hauteur de la pente qui pourrait caractériser la force (exprimée en millimètres ou en pourcentage).

D'après Kovacs et *al.*, (1997), la hauteur du pic obtenu au mixogramme est le meilleur critère de prédiction de la masticabilité et la fermeté des pâtes de blé dur.

D'après les normes de Williams et *al.*, (1988), on peut classer les variétés étudiées comme dans le tableau 29.

Tableau 29. Classement des variétés selon leur force de la hauteur du pic (exprime en %) selon Williams et *al.*, (1988)

Faible (40-49)	Moyen (50-59)	Forts (60-69)
SIMETO Variété1 Variété3 Variété 4 Variété 7	Variété 3 Variété 6 Variété 8	Variété 5

Pour le paramètre hauteur du pic, la plupart des variétés possèdent une faible force y compris l'ancienne variété SIMETO. L'aspect qualitatif des protéines est aussi important dans la détermination du temps de développement.

III.2. Appréciation de la qualité culinaire

La notion de qualité culinaire des pâtes alimentaires regroupe l'ensemble des caractéristiques suivantes : temps de cuisson, absorption d'eau pendant la cuisson, texture des produits cuits (fermeté et élasticité), état de surface des produits cuits, arôme, goût et couleur (Autran, 1996).

Selon le même auteur le comportement des pâtes au cours de la cuisson peut être aussi très différent d'un produit à un autre.

Les résultats de test de cuisson des blés testés sont illustrés dans le tableau 30.

Les propriétés rhéologiques des pâtes sont principalement sous la dépendance de la teneur en protéines et de la viscoélasticité du gluten ; plus celles-ci sont élevées, plus les pâtes sont fermes pour un temps donné de cuisson. Le test de cuisson constitue l'un des meilleurs moyens pratiques pour apprécier la qualité d'une pâte alimentaire. La qualité culinaire dépend des caractéristiques des blés mis en œuvre (selon les conditions de culture de la variété), de la pureté des semoules et des conditions de fabrication des pâtes (Autran, 1996).

Tableau 30. Résultats des tests de cuisson des pâtes alimentaires fabriquées.

Variétés	Pertes à la cuisson (g)	T Minimal de cuisson (mm)	T Optimal de cuisson (mm)	T Maximal de cuisson (mm)	Capacité de fixation d'eau (%)	Délitescence note de 1 à 9			FERMETE		
						T+1	T+6	T+11	T+1	T+6	T+11
SIME TI	15.30	13	19	30	307.60	6	6	2	8	8	7
V 1	19.99	9	18	29	357.45	8	6	3	8	7	7
V 2	24.02	10	20	31	443.04	9	6	7	9	8	3
V 3	22.39	10	16	27	424.05	7	6	4	8	7	6
V 4	25.88	9	15	26	439.17	7	6	4	8	8	6
V 5	24.03	11	16	27	334.58	9	4	3	7	6	6
V 6	15.98	10	16	27	290.60	8	8	6	8	8	8
V 7	35.59	9	16	27	426.63	6	2	2	6	5	5
V 8	18.57	13	19	30	322.16	9	6	3	8	8	7

III.2.1. Temps de cuisson

Les temps minimal, optimal et maximal de cuisson correspondent respectivement à la durée à partir de laquelle, l'amidon est gélatinisé (figure 23), au temps nécessaire pour donner à la pâte la texture recherchée et au temps au-delà duquel les produits se désintègrent dans l'eau de cuisson (Autran (1996), Frank et *al.*, 2002 ; Abecassis, 2011).



Figure 23. Détermination du temps minimal de cuisson.

Les valeurs indiquant les temps de cuisson sont illustrées dans le tableau 30, le temps minimum de cuisson des pâtes est de 13,12, 14, 10, 9, 10,10, 10, 13 minutes respectivement pour les pâtes SIMETO, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, respectivement (tableau23).

III.2.2. Gonflement des pâtes ou capacité de fixation d'eau

Le gonflement et l'absorption d'eau qui se mesurent en déterminant le poids des pâtes avant et après cuisson. D'une manière générale, 100 grammes de pâte sèche fixent 160 à 180 grammes d'eau (Autran, 1996). Le gonflement rend compte de l'aptitude de la pâte cuite à retenir plus ou moins d'eau. Ces paramètres influent directement sur le poids des pâte cuites.

D'après le tableau 31, la capacité de fixation d'eau des pâtes alimentaires varie entre 307.60 % et 443.04 %. Chez la variété témoin SIMETO et la variété 1, respectivement. Adams (1987), indique que la diminution de la capacité de fixation de l'eau s'explique par le renforcement de la trame protéique qui contrôle la vitesse de gélatinisations et le degré de gonflement des granules d'amidon qui dépend du milieu de culture.

III.2.3. Pertes à la cuisson

Dans les pertes à la cuisson, on détermine les pertes des substances dans l'eau de cuisson, celle-ci doit rester aussi limpide que possible.

D'après le tableau 31, les pertes à la cuisson des variétés SIMETO, 1,2, 3, 4, 5, 6,7et 8 sont respectivement de 15.30 19.99 24.02 22.39 25.88 24.03 15.98 35.59 18.57 g/1000g MS. Plus les pertes à la cuisson sont élevées, plus les variétés ne sont pas résistantes à la cuisson.

III.2.4. Coloration des pâtes à l'état cru

Les résultats d'observation de la couleur des pâtes alimentaires à l'état cru des blés durs étudiés, montrent que ces dernières sont claires, lisses et d'une couleur jaune ambrée (Annexe 3).

En effet, le plus souvent les pâtes alimentaires claires et de couleur jaune ambrée sont les plus recherchées. Cette couleur jaune recherchée, dépend de la richesse en pigments caroténoïdes de la matière première, des conditions de mouture de blé dur et du séchage des pâtes alimentaires. Comme pour la semoule, l'indice de jaune reste un facteur variétal et l'indice de brun est beaucoup plus influencé par des facteurs agro climatique et le taux d'extraction (D'egidio et *al.* 1996).

III.2.5. Qualité des pâtes cuites

D'une manière générale, les consommateurs souhaitent que les pâtes restent fermes et ne collent pas après cuisson. Dans l'ensemble, la qualité culinaire des pâtes dépend des caractéristiques des blés mis en œuvre (potentiel de qualité propre à la variété mais pouvant s'exprimer différemment selon les conditions de culture de la plante), de la pureté des semoules (taux d'extraction) et des conditions de fabrication des pâtes (Autran, 1996).

L'état de surface des produits cuits recouvre la notion de collant (prise en masse, degré d'adhésion des brins entre eux) et de désagrégation (délitescence) se manifestant pendant ou après la cuisson (Autran, 1996).

La texture des produits cuits rend compte de la fermeté et de la masticabilité des pâtes après cuisson. Ces caractéristiques peuvent être déterminées par des mesures rhéologiques (fermeté, viscoélasticité, ténacité en utilisant un texturomètre ou un viscoélastographe, ou un alveographe. Par exemple pour mesurer la fermeté et la viscoélasticité au moyen d'un viscoélastographe, on place un échantillon de pâte cuite entre deux plateaux horizontaux. Une force constante est appliquée perpendiculairement aux plateaux, puis enlevée. On enregistre la variation d'épaisseur de l'échantillon en fonction du temps (Autran, 1996).

Les résultats sont regroupés dans le tableau 31 et la discussion est basée sur les résultats obtenus sur l'ensemble des temps de cuisson réalisée $(T+6\text{min}) + (T+11\text{min}) / 2$, ce qu'on appelle l'état de surface.

Tableau 31. Résultats de fermeté et délitescence par le rapport (T+6min) +(T+11min) /2.

Variétés	Etat de surface	
	Délitescence	Fermeté
SIMETO	4	7,5
1	4	7
2	4,5	5,5
3	6,5	6,5
4	5	7
5	5	6
6	3,5	8
7	7	5
8	4,5	7,5

Les résultats de l'évolution de la qualité culinaire des pâtes alimentaires issue des neuf (09) variétés de blés durs étudiés, montrent que la texture, la fermeté et la délitescence des pâtes alimentaires fabriquées sont élevées, donc les variétés sont de bonne qualité culinaire (Annexe 4).

III.3 Caractérisation physico-chimique et technologique des variétés étudiées

Les résultats obtenus permettent de caractériser les variétés étudiées (Tableau 32) dans le but de les comparer et les inscrire au catalogue national des variétés.

Tableau 32. Tableau récapitulatif des caractéristiques physico-chimiques et technologiques des variétés étudiées.

Variété									
Analyse	SIMETO	1	2	3	4	5	6	7	8
Hg	Grains aptes à être stockés								
Hs	Semoules aptes à être stockées								
PS (kg/hl)	Grain lourd								
PMG (g/ms)	Gros grain	Moyen	Petit	Moyen	Petit				Moyen
T mouc	Tolérante à la moucheture								
T.mida %	Résistante au mitadinage								
TE %	Faible								
TC %	Élevé	Faible	Élevé	Faible		Élevé	Faible	Élevé	
TP %	Extra. Élevé	Élevé			Extra. Élevé	Élevé		Extra. Élevé	
Ij	Élevée	Faible							
Ib (%)	Faible								
SDS (ml)	Moyen	Fort				Faible		Fort	
SDS index	Fort				Faible		Fort	Fort	
GH (%)	Bonne qualité								
GS (%)	Élevé					Faible		Élevé	
Gindex	Gluten de force								
C %	Bonne qualité					Qualité inférieure		Bonne qualité	
Td	Faible	Moyen	Faible	Bon	Faible			Bon	Moyen
H p	Faible	Très faible	Moyenne	Faible	Bonne	Moyenne	Faible	Moyenne	
Affaiblissement	Très bon								Bon

III.4. L'analyse en composantes principales (ACP)

Pour évaluer l'intérêt respectif des tests utilisés, un ACP est réalisé en prenant comme observation l'ensemble des variétés des blés et comme variables principales les 21 tests qualitatifs.

A partir des plans principaux des graphiques de l'ACP, qui recouvre 83,16% de l'inertie totale et sur lequel les points représentatifs des tests sont matérialisés par des flashes et ceux représentatifs des génotypes par des cars, on peut faire l'observation suivante :

Le PMG, Hg, IB, TC%, et AFF sont bien présentés sur le cercle de corrélation du plan factoriel 1X2, tandis que le Gh, le Gs, TE%, le T midad, le HP et le G index sont mal représentés sur le même cercle de corrélation.

Le plan factoriel 1X3 indique que les variables ; Ij, Hg, Hs, Ib, TP, Gh et Gs sont bien présentées sur le cercle de corrélation, tandis que les variables PS, TC%, AFF, le T mouch sont mal présentées sur le même cercle de corrélation.

Les variables ; Ib, Hg, T mouch sont bien présentées sur le cercle de corrélation du plan factoriel 1X4, tandis que les variables Gh, Gs, T midad, Td, TE%, SDS, C%, AFF, TC%, et PS sont mal présentées sur le même cercle de corrélation.

Les cercles de corrélation du plan factoriel 1X2 donne les corrélations suivantes :

PS est corrélé positivement avec le PMG, de même Bokhella (1996) a noté une corrélation positive entre le PMG et le PS. Les deux tests PS et le PMG ont une relation significative avec le rendement des variétés, ces dernières sont corrélées négativement avec le taux de cendre. Selon Abecassis (1996), le taux de cendres est un critère règlementaire de la mesure de la pureté des semoules de blé dur. Plus le taux de cendres est faible, plus la semoule est considérée comme pure et plus le rendement en semoule est important.

Le PMG est corrélé positivement avec l'Hg et l'Ij, mais négativement avec l'Ib.

L'Hs est corrélé positivement avec le Ij et négativement avec l'Ib.

Le TE% est corrélé positivement avec le SDS, plus le SDS augmente plus le taux d'extraction de la variété augmente aussi.

Le SDS es corrélé positivement avec le C%.

Des corrélations négatives entre l'Ij et Ib. Ce dernier est corrélé négativement avec le TP.

Le Gh est corrélé positivement avec le C% et Gs.

Le Gs est corrélé positivement avec le C%.

TC% est corrélé positivement avec l'AFF.

- Le cercle de corrélation du plan factoriel 1X3 donne les corrélations suivantes :

Les variables C%, Gs, Gh sont très fortement corrélées positivement.

Les variables AFF, SDS et TP sont très fortement corrélées positivement.

Le T midad, le TE%, et le SDS sont très fortement corrélés positivement

Les deux variables T mouch et Ib sont très fortement corrélées positivement.

L'Hg et Ij sont très fortement corrélés positivement.

Le Td est corrélé négativement avec C%.

L'Ij est corrélé négativement avec le T mouch.

- Le cercle de corrélation du plan factoriel 1X4 donne les corrélations suivantes :

Le Td, le SDS, T mouch et TE% sont très fortement corrélés positivement.

Hg, Hs et Gh sont très fortement corrélés positivement.

Le PS, T C% et l'AFF sont très fortement corrélés positivement.

Les variables ; SDS, TE%, et Td sont très fortement corrélées positivement.

Les deux variables ; PS et T mouch sont très fortement corrélées négativement.

Le TE% et GS sont très fortement corrélés négativement.

Le premier axe factoriel est corrélé négativement avec le PMG, Hg, Ib et TP.

Le deuxième axe factoriel est corrélé positivement avec le PS et SDS, mais négativement avec T C % et AFF.

Le troisième axe factoriel est corrélé négativement avec le Gh et Gs

Le quatrième axe factoriel est négativement avec le T mouch.

D'après l'analyse statistique faite, On note :

Le PMG, le Hg, AFF, TC% et Ib sont bien présentés sur le cercle de corrélation

Des corrélations positives hautement significatives du taux de mouchetures avec le PMG ($r = 0,09$) d'une part, d'autre part avec le taux de mitadinage ($P = 0,001$).

Des corrélations significatives ($P = 0,01$) et positives entre le PMG et le taux de protéines, ainsi que négatives pour le taux de mouchetures, cela renseigne sur un taux important de vitrosité des graines.

Des corrélations négatives et significatives entre la teneur en protéines des grains (TP) et le taux de mitadinage, plus le taux de mitadinage diminue, plus le taux de protéines augmente, cela est relié directement à l'apport d'azote fractionné avec un apport tardif (floraison) qui améliore la teneur en protéines et diminue de façon significative le mitadinage (Samson *et al.*, 2004).

Une corrélation hautement significative ($P = 0,02$) est négative entre le taux de cendre et l'indice de jaune.

Toutefois, les teneurs en protéines, en gluten sec et humide sont fortement corrélées entre elles positivement, ainsi que le volume de sédimentation en milieu SDS et la valeur du gluten index qui sont également reliés entre eux.

D'une part, le taux de protéines est corrélé négativement avec le taux d'extraction, ces résultats sont en désaccord avec les résultats obtenus par Akkouche et Oubellil (2017) qui ont trouvé des corrélations positives très hautement significatives entre le taux de protéines et le taux d'extraction. Par ailleurs, les taux de protéines obtenus pour toutes les variétés de blé dur étudiées sont élevés.

En effet, ces résultats sont confirmés par Ball *et al.*, (2011) qui notent une diminution de la teneur en amidon sous stress, ce qui engendre une chute de poids de mille graines, une diminution de la teneur en amidon sous stress et une augmentation du taux de protéines (la synthèse des protéines du gluten se produit durant le remplissage du grain). Par ailleurs, Don *et al.*, (2005), Saibt *et al.*, (2008) et Panozzo *et al.*, (2001) affirment que la sécheresse et le stress à haute température affectent en premier lieu le taux d'accumulation des Gluténines et des gliadines, leurs compositions et la distribution des protéines polymériques et en seconde lieu, le poids de mille grains et le rendement en semoules.

D'autre part, ce taux de protéines est corrélé négativement et hautement significatif avec le taux de cendres, ainsi qu'une corrélation négative et significative ($r = 0,58$) entre le test SDS et le taux de cendres est notée. Ces résultats sont en accord avec ceux rapportés par Pena, (2000) et Rharrabti et *al.*, (2003), qui affirment que les semoules les plus riches en cendres ont des teneurs élevées en protéine.

De plus, des corrélations positives et significatives ($P = 0,01$) sont notées entre le gluten humide et sec avec la teneur en protéines d'une part, et d'autre part, des corrélations négatives et hautement significatives avec le taux de cendres et le taux de mitadinage. Ces résultats sont similaires à ceux de Ladraa, (2012) ; Djaber et Seddi, (2012), qui ont montré l'existence d'une relation entre la teneur en protéines et la force du gluten, démontrée par Poblacions et *al.*, (2009) et publiée par Farzad et *al.*, (2013).

La teneur en protéines est corrélée à l'environnement plus qu'à l'expression génétique, contrairement au volume SDS qui exprime la force du gluten et qui repose particulièrement sur une base génétique (Flagella et *al.*, 2010). Par ailleurs, il est noté que le test SDS est corrélé négativement avec l'humidité des grains et positivement avec le taux de mitadinage.

Le taux d'humidité des grains est associé aux températures élevées qui provoquent la diminution de l' α -amylase et le volume de SDS, d'une part, et l'augmentation de la vitrosité qui diminue l'élasticité du gluten, d'autre part (Nithya et *al.*, 2011).

D'après Don et *al.*, (2005), la synthèse du gluten se produit durant le remplissage des grains. Certains travaux montrent que la sécheresse et le stress à haute température affectent le taux d'accumulations des gliadines, leurs compositions et la distribution des protéines polymériques. Ainsi, Saint pierre et *al.*, (2008) et Panozzo et *al.*, (2001) ont trouvé une augmentation significative de la distribution des Gluténines polymériques chez les variétés de blé cultivées en zones humides, alors que Flagella et *al.*, (2010) ont montré une augmentation dans la qualité des Gluténines macropolymériques sous stress hydrique durant le remplissage des grains.

- **Analyse du nuage de points-variétés : graphique des individus**

- **Analyse hiérarchique**

La présentation graphique des individus par le plan formé par l'axe 1 et 2, a révélé la formation des groupes distinctes (figure 25).

Le premier groupe regroupant les variétés : 2, 3, 4, 5, 6, 8 et 9 se positionnent du côté positif de l'axe 1, mais se retrouvent plus proche du centre du plan factoriel par l'axe 1 et 2 d'où l'existence d'une faible variabilité entre ces variétés par les caractéristiques étudiées. Ces dernières se distinguent par les valeurs moyennes de TP, HP et SDS.

La variété 1 qui représente la variété témoin se positionne du côté négatif et très proche de l'axe 2 et se distingue de toutes les huit nouvelles variétés étudiées par un indice de jaune le plus élevé.

La variété 7 se positionne du côté positif et se rapproche de l'axe 2.

Ces deux variétés présentent des critères opposés pour toutes les variables étudiées.

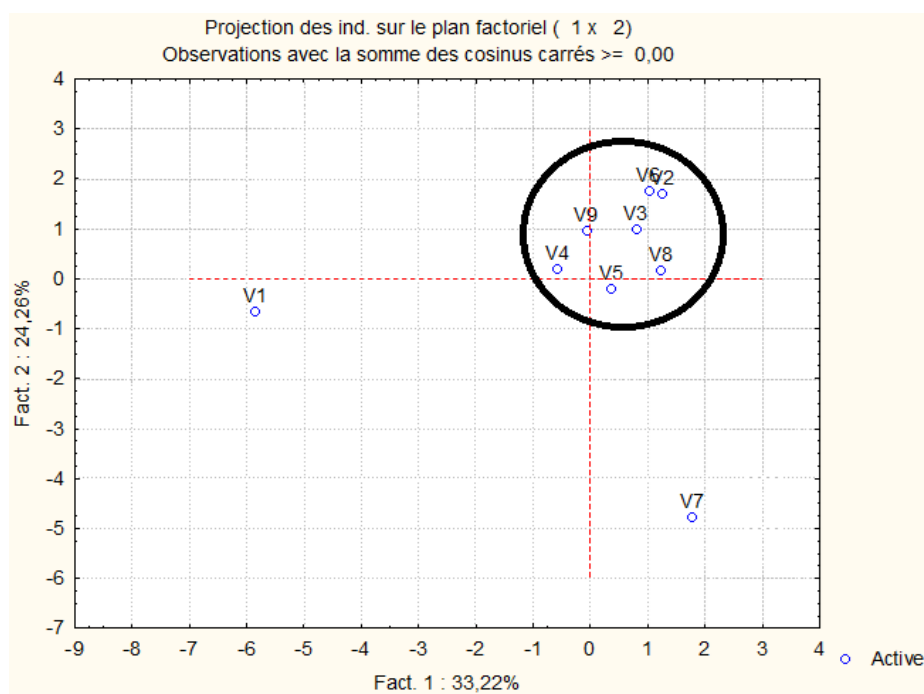


Figure 25. Projection des individus sur l'axe 1 et 2.

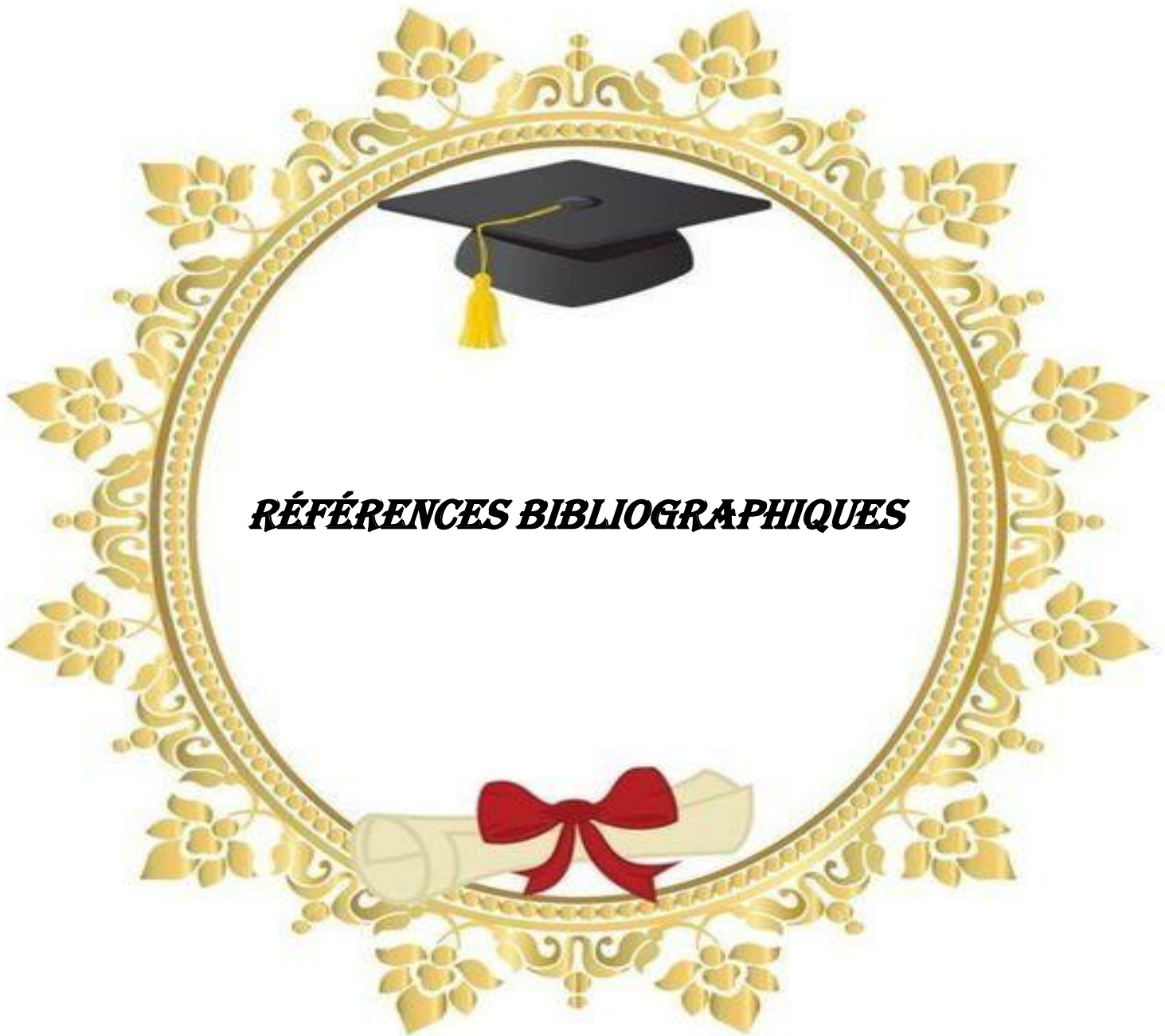


CONCLUSION

L'étude menée sur la caractérisation technologique des huit variétés de blé dur récemment collectées dans la wilaya de Tiaret révèle une diversité génétique au sein des variétés étudiées.

En outre, les huit nouvelles variétés examinent la présence de caractéristiques technologiques essentielles telles qu'une tolérance au moisissure et au mitadinage, une forte teneur en gluten, une protéine élevée, des niveaux élevés de Ps et PMG, ainsi qu'une excellente qualité culinaire des pâtes alimentaires. Cependant, avec un faible indice de jaune et un rendement en semoules, il est suggéré d'améliorer les huit variétés de blé dur afin d'augmenter la quantité de semoules obtenues et d'obtenir un bon indice de jaune.

En se basant sur cette étude, il est possible de conclure que toutes les huit variétés possèdent une qualité technologique remarquable qui les rend parfaitement qualifiées pour être inscrites au catalogue national des nouvelles cultures.



RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Abcassis J. et Chaurand M., 1997.** Appréciation de la valeur d'utilisation du blé dur en semoulerie et plastification. in Guide pratique d'analyse dans les industries des céréales. Ed : Tec & Doc, Lavoisier Paris, 2^{ème} édition, P 746-774.
- Abdellaoui Z., 2017.** Etude de l'effet de la fertilisation azotée sur les propriétés techno fonctionnelles des protéines de blé. INA.
- Abdelliche M., Ferkhi A., 2018.** Contribution à l'étude et l'optimisation de la fertilisation minérales du blé dur (*Tritium durum* Desf.). Universités FRERES MENTOURI Constantine 1. P 17-18.
- Abecassis J., 1996.** Comprendre la qualité : la valeur semoulière. Comment s'explique-t-elle ? coll. Perspectives blé dur INRA. Montpellier, France. P 37-56.
- Abecassis J., 2011.** Innovations pour améliorer la qualité des productions et des produits céréaliers. UMR-IATE Ingénierie des agro polymères et technologies. Émergentes INRA. CIRAD, SUPAGRO, UMII Montpellier. France.
- Abecassis J., 1991.** « Qualité du blé dur de la semoule et des pâtes alimentaires », Laboratoire de technologie des céréales. Ed. INRA, pp : 15-18.
- Abecassis J., 1984.** La mouture d'essai de blé dur. Recherches et applications industrielles. Mémoire d'ingénieur. Ed. Ensmic.
- Abecassis J., 1987.** La mouture d'essai de blé dur. Recherches et applications industrielles. Mémoire d'ingénieur. Ed. Ensmic. ;
- Abecassis J., 1987.** La mouture d'essai de blé dur. Recherches et applications industrielles. Mémoire d'ingénieur. Ed. Ensmic. Abecassis, 1991
- Abecassis J., 1991.** La mouture du blé dur In : Les industries de première transformation.
- Abecassis J., 1991.** Qualité du blé dur, de la semoule et de la pâte alimentaires –ind. Des céréales. Juillet – Aout. Pp7-11.
- Abecassis J., Alory R., Feillet P., 1984.** Influence des températures de séchage sur l'aspect et la qualité culinaire des pâtes alimentaires. Industries des céréales. 31,13-18.
- Abecassis J., Chaurand M., 1997.** Appréciation de la valeur d'utilisation du blé dur en semoulerie et pastification. In : Guide pratique d'analyses dans les industries des céréales. Ed Tech & Doc, Lavoisier, Paris. 2^{ème} édition : 746-774.

- Abecassis J., et Chaurand M., 1997.** Appréciation de la valeur d'utilisation du blé dur en semoulerie et pastification. In : Gide pratique d'analyse dans les industries des céréales. Ed : Tech et Doc, Lavoisier paris. 2^{ème} Ed. p746-774.
- Abecassis, J et Feillet P., 1985.** Pureté des semoules de blé dur ; taux de cendres et réglementation. Industrie des céréales ;
- Abecassis, J., 1996.** Les autres aliments à base de blé dur objectif qualité. ONIC IFTC.18
- Abidi L. 2009.** Etude de l'interaction genotype-environnement sur les paramètres agronomiques et technologiques de quelques variétés de blé dur (*Triticum durum* Desf). Blida, Département des Sciences Agronomiques.
- ADAMS K., 1987.** Fractors affecting the quality of cooking and the intraction of glutening and gliadins with 7s and 11 sog proteins. Dissertation abstractions international B 47 (12) 180.
- AFNOR VO 3-714.** Appréciation de la qualité culinaire des pâtes alimentaires fabriquées à base de semoules de blé dur.
- AFRON NFISO 7304.** Détermination de la qualité culinaire des pâtes alimentaires.
- Alain Gallien, 2008
- Alaus J, et Abecassis J., 1979.** La qualité des nouvelles variétés française de blé dur. Cahier agriculture.
- Allel R., Lohoues R. et Soyaud I. 2021.** Etude de la qualité du blé dur et de la semoule « Amor Ben Amouré, mémoire de fin d'études, université 8 mai 1945 Guelma, page 7-14.
- APG III., 2009.** An update of the Angiosperm Phylogeny Group classification for the orders and families of flowering plants : APG III. Botanical Journal of the Linnean Society, 161: 105 121.
- Arvalis 2022.** Qualité des céréales Françaises Récolte 2022. Jean Yves MOREAU et coll. – ARVALIS – Institut du végétal.
- Autran J.C., 1996.** "Comprendre la qualité : La qualité culinaire : de quoi est-elle faite?". Communication au Colloque Perspectives blé dur. 26 Novembre, Toulouse-Labège, France. 57-71.
- Autran J.S., 1996.** La qualité culinaire, de quoi est-elle faite, colloque « perspective blé dur » Toulouse labeg. France

- Axford D.W.E., Dermott et Redman D.G., 1978.** note on the sodium dodecyl sulfate test of bread making quality, comparaison with pelshenke and zeleny tests. In Cereal chem. N° 56, Pp: 582-584.
- Azudin. N 1988.** The milling process in Omeranz Y. Wheat Chemistry and Bacillus cereus in some Nigerian flour-based foods. Food Control. 3, 149-15.
- Ball O.J., Gwinn K.D., Pless C.D., &Popay A.J., 2011.** Endophyte isolate and host grass effects on *Chaetocnemapulicaria* (Coleoptera: Chrysomelidae) feeding. Journal of Economic Entomology., 104:665-672.
- Bamouh, 2007.** Programme national de transfert de technologie en agriculture. Fertilisation Minérale de cultures N°155.P1-4.
- Bar C, 1995.** Contrôle de la qualité des céréales et protéagineux. guide pratique – Ed , ITEC Paris P. 253.
- Becassis J., Autran, J C., Feillet, F., 1996.** La qualité technologique. In: blé dur, brochure de l'institut technique des céréales et des fourrages (ITCF) et l'office national interprofessionnel des céréales.
- Belaid, 1986.** Aspect sur la céréaliculture algérienne. Ed OPU. pp 75-86 ; **Gate, 1995.** Contribution à l'étude des effets du semis direct sur l'efficience d'utilisation de l'eau et le comportement variétal de la culture de blé en région semi-aride. Thèse magister Faculté des Sciences de la Nature et de la vie, Université Ferhat Abbas, Sétif.6-7-8p.
- Benbelkacem. A, Brinis. L, Sadli. F, 1995.** La recherche pour la qualite des bles durs en Algerie. (Options Mediterraneeennes CIHEAM, Serie A, Seminaires Méditerranéen, p 61 -65.
- Benchikh C., Fahloul D., Boulaoueh N., Fellahi N., 2016.** Effets de l'augmentation de la dose d'azote sur l'amélioration du rendement et des paramètres de qualité du blé dur (*Triticum durum* Desf) en zone semi-aride en Algérie. Céréaliculture : revue technique et scientifique de l'Institut Technique des Grandes Cultures. Numéro 66 : 51 p.
- Bennort.h., et Galais A., 1992.** Amélioration des espèces végétales cultivées : objectifs et critères de sélection. Montpellier, France : Edition INRA. Pp.437.
- Berhaut et al., 2003.** Stockage et conservation des grains à la ferme (qualitéstockage), stockage à la ferme, (arvalis – institut du végétal) et jean-pierrecriaud (grceta de l'evereucin), ARVALIS - institut du végétal.

- Boudreau A., et Menard G., 1992.** Le blé, éléments fondamentaux et transformation. Ed. Les presses de l'université Laval.
- Boukhella M. 1996.** La composition protéique de stockage marocains et ses relatives avec la qualité des pâtes et la panification donnent un aperçu des principaux résultats obtenus au cours de la dernière décennie. Communication présentée au séminaire sur le blé dur organisé par l'association internationale SEWANA à l'IAV Hassan II. Décembre 1996.
- Boulal, H Zaghouane O., El mourid M ET Rezgui S., 2007.** Guid pratique de la conduite des céréales d'atomes (blés et orge) dans le Maghreb (Algérie, Maroc, Tunisie). Ed. TIGC, INRA, ICARDA, Algérie, 176p.
- Boulala Z., Rouabeh A., 2018.** Appréciation de la qualité technologique de 8 variétés homologuées de blé dur cultivé dans la région de Constantine. Université des FRERES MENTOURI Constantine.
- BOURDET A., 1976.** Nécessité d'une harmonisation des Critères de jugement de la valeur boulangère des blés de la sélection à l'utilisation. Tech. Ind. Cérééal., vol. 158, p.p. 3-11.
- Bozzini A. 1988.** Origan, distribution and production of durum wheat in the Word. in Fobriani G. et lintas , C. (éd) . durum: chemistery and technology. AA CC (Minnesota).Etats-unis :1-16P.
- Branlard, G., Dardevet, M., Saccomano, R., Laguotte, F., Gourdon, J., 2001.** Genetic diversity of wheat storage proteins and bread wheat quality. Euphytica, vol. 119, p.p. 59-67.
- Brennan R M, Fitt B D L, Taylo G S, Colhoun J. 1985.** Dispersal of Septoria nodorum pycnidiospores by simulated rain and wind. J Phytopathology 112:291-297
- Buleon A., Colonna P., Planchat V., Ball S., 1998.** Starth grunules : structure and biosynthesis. International journal of biological Macromolecules.23,2 ,85-112.
- Calvel 1984.** La boulangerie moderne, Ed ; EGROLLE. France, p459.
- Cheristian S, 2005.** Guide de la fertilisation raisonnée. Grandes cultures et praires. Edition France agricole ,407p.
- Clarke J.K., Norvell W.A., Clark F.R., and Buckley T.W., 2002.** Concentration of cadmium and other elements in the grain of near-isogenic durum lines. Can J. Plan.t Sci. Revue condienne de phytotechnie82 : 27 3-3.

- Clement-Grandcourt et Prats J., 1971.** Les céréales Collections d'enseignement agricole 2^{ème} ED, bollier France. 351P.
- Codex Alimentarius 178-1995.** Norme codex pour la semoule et la farine de blé dur, Céréales, légumes secs, légumineuses et matières protéiques végétales, 1995, 3 p
- CRC., 2002.** Amélioration du blé au CRC. Fiche d'information du centre de recherche sur les céréales. Winnipeg. Canada, 2p.
- Crostan RP. et Williams JT., 1981.** A world survey of wheat genetic resources. IBRGR, Bulletin /80/59, 37 pages
- Cubadda R., 1988.** Evaluation of durum wheat, semolina and pasta in Europe. In durum wheat : chemistry and technology. Coord. Fabriani G et Lintas C. PP 217-235. Edité par American Association of cereal chemist (AA CC).
- Cubadda, R., Carcea, M., Pasqui, L.A., 1992.** Suitability of the Gluten Index method for assessing gluten strength in durum wheat semolina. Cereal Food World, vol.37, p.p.866-869. culinaire des pâtes alimentaires fabriquées à base de semoules de blé dur.
- D'egidio M., Boggini G., Cecchini C., Pagani M., Denoni I., Remini P., 1996.** Effet odellaracalta anticipatasullaqualitapastificatoriadelfumentoduro. TECNICA Molitoria, vol. 47, n.12, p.p. 1205-1206.
- Dagnelie P., 2006.** Statistique théorique et appliquée. Tomme 2 : inférence à une et deux dimension. Bruxelles-université DE BOECK et LARCIER. pp 625.
- Damidaux R. et Feillet P 537 Y., 1978.** Relation entre les protéines viscoélastiques du gluten cuit, la teneur en protéines et la qualité culinaires des blés dur. Ann. Tech. Agric ., 27 (4), 799-809.
- Dania L., 2010.** Caractérisation biochimiques de quelques variétés de blé dur algérien, relation avec la qualité technologique dans le cadre d'une supplémentation. Mémoire d'Ingénieur d'Etat. Ecole national supérieur d'agronomie, EL-HARRACH.170P.
- Delachaux N.1983.** Alimentation boulangère- pâtissière. Edition SPES.P7-8.
- Delfrate., et Steaphane C., 2005.** Mieux connaitre la farine, spéciale analyse. SOTAL, 12P.
- Dexter J. E., Matsuo R. R., 1978.** The effect of gluten protein fractions on pasta dough rheology and spaghetti-making quality. Cereal Chemistry, n. 55, p.p. 44-57.

- Dexter J.E., Mastuo R.R., Morgan B.S., 1983.** Spaghetti stickiness: Some factors influencing stickiness and relationship to other cooking quality characteristics. *Journal Food Sci*, 48 .1545-1559p.
- Dexter JE., Matsuo RR., Kosmolak FG., Leisle D., Marchylo BA., 1980.** The suitability of the SDS-sedimentation test for assessing gluten strength in durum wheat. *Can J Plant Sci.*, vol. 60, p.p. 25–29 et **Boggini G, Tusa P, DI Sikvestro S. et Pogna, N. E., (1997).** Agronomical and quality characteristics of durum wheat lines containing the 1BL/1RS translocation. *J. Genet. Breed.*, n. 53, pp. 167-172.
- Dick, J. W., and Matsuo, R. R. 1988.** Durum wheat and pasta products. Pages 507-547 in: *Wheat Chemistry and Technology*, Vol. II. Y.Pomeranz, ed. Am. Assoc. Cereal Chem.: St. Paul, MN.
- Dick, J.W., Quick, J.B. 1983.** A modification screening test for rapid estimation of gluten strength in early-generation durum wheat breeding lines. *cereal chemistry* 60, 315-318.
- Djaber Fatiha, Seddi Fatiha, 2012.** Distribution des protéines de réserve dans les produits de mouture de blé dur et leur rôle en panification. Mémoire d'Ingénieur, Université Mouloud MAMMERY, Tizi-Ouzou, Algérie, 105p.
- Don C., Lichtendonk W.J., Plijter J.J., Hamer R.J., 2003.** Glutenin macropolymer : a gel formed by particles. *Journal of Cereal Science*, vol. 37, p.p. 1-7.
- Don C., Lookhart G., Naeem H., Homer R.J., 2000.,** « Heat stress and genotype affect the gluten particules of the glutenin macropolymer- gel- fraction ». *Journal of cereal science*, 42, 69-80.
- Dubois M., 1994.** Rendement en pate en boulangerie et en industrie de la cuisson. *Industrie des céréales*. 89 : 39-43.
- Duranti M. 2006.** Grain legume proteins and nutraceutical properties. *Fitoterapia*. Vol 77. N°2. Pp 67- 82
- Edwards N.M., Izydorzy K., Dexter T.E ., Biliarederis C.G., 1993.** Cooked pasta texture : comparision of dynamic viscoelastic properoties to instrumental assessment of firmness . *cereal chemistry* 70 ,122-126.
- Eliard J.L., 1979.** Manuel d'agriculture générale. Bases de la production végétale. Ed. J.B. Bailliére, 344p.

- FAO stat. 2021.** Statistical database of the food and agriculture organization of the united nation. [https:// Faostat.fao-org](https://faostat.fao.org).
- FAO stat, 2020/2022.** Bulletin de la FAO sur l'offre et la demande de céréales <http://www.fao.org/worldfoodsituation/fr> Perspectives de récoltes et situation alimentaire
- FEILLE P. 2000A.** Le grain de blé: composition et utilisation. Inra. Pp 72 30. Feillet P. (2000b). Le grain de blé : composition et utilisation. Institut national de la recherche agronomique. Inra. Pp 195- 308
- Feillet P. 1984.** The biochemical basis of pasta cooking quality. It's consequences for durum wheat breeders. Science Alimentaire N° 4. pp. 551 - 566.
- Feillet P. 1986.** L'industrie des pâtes alimentaires : Technologies de fabrication, qualité des produits finis et des matières premières. Ind. Agric. Aliment. N°103. pp. 979 - 989.
- Feillet P., 2000.** Le grain de blé, composition et utilisation. Institut National de la Recherche Agronomique, INRA, Paris .187-195 p.
- Feillet P., 2000.** Le grain de blé : composition et utilisation. Institut National de la Recherche Agronomique, Paris, 308p.
- Feillet P., Abecassis J. 1976.** Valeur d'utilisation des blés durs C.R. Semaine d'étude céréaliculture Gembloux, 551-560 p.
- Feillet P., Dexter J.E. 1996.** Quality requirements of durum wheat for Semolina milling and pasta production. In "Monograph on Pasta and Noodle Technology", Matsuo R.R., Minnesota ,A.A.C.C.N°95. pp132.
- Feillet P., et Dexter., 1996.** Quality requirements of durum wheat for semolina ,milling and pasta production : in monograph on pasta and noodle technology. MATSUO R.P., ED., SAINT – POUL, MINN A.A.A. C. C. 95.132.
- Feillet P., Dexter J.E.1996.** Quality requirements of durum wheat for Semolina milling and pasta production. In "Monograph on Pasta and Noodle Technology", Matsuo R.R., Minnesota ,A.A.C.C.N°95. pp132.
- Feillet P., Dexter J.E.1996.** Quality requirements of durum wheat for Semolina milling and pasta production. In "Monograph on Pasta and Noodle Technology", Matsuo R.R., Minnesota ,A.A.C.C.N°95. pp132.

- Feillet, 2000.** Le grain de blé, composition et utilisation, ed : INRA, Paris, 2000, 303 P.
- Feillet, P., 2000.** Le grain de blé ; composition et utilisation –INRA : P 17-18 ;
- Flagella Zina, Giuliana Marcella M., Giuzioa Luigia, VolpiChiara, MasciStefania, 2010.**
Influence of water deficit on durum wheat storage protein composition and technological quality. *Europ. J. Agronomy*, n.33, p.p. 197–207.
- Frank A., Monthy L. S, Anton L. S., 2002.** Physical and cooking quality of spaghetti made from whole wheat durum. *American Association of cereal Chemists* ; 79, 504-510.
- Fратиanni A, Irano M, Panfili G, Acquistucci R., 2005.** *J Agric Food Chem*, vol.53, p.p. 2373–2378
- FREDOT E., 2005.** *Connaissance des aliments. TEC & DOC, Paris, 397p.*
- Gallais., A., 2015.** Structure des exploitations agricoles. Agreste- DRAAF Nord -Pas-de- calais , p7-25.
- Gate P., 1995.** *Ecophysiologie du blé : de la plante à la culture. Ed Lavoisier. 429p.*
- Gate P., Gobon M., 2003.** Stade de blé. ITFC.ARVALIC : Pp 24.
- Gate, 1995.** Contribution à l'étude des effets du semis direct sur l'efficacité d'utilisation de l'eau et le comportement variétal de la culture de blé en région semi-aride. Thèse magister Faculté des Sciences de la Nature et de la vie, Université Ferhat Abbas, Sétif.6-7-8p.
- Gauthier A. et Joudrier M., 1991.** Stratégie de sélection pour l'amélioration des céréales « application du génie génétique en amélioration des céréales ». Conférence de Saragosse, INRA / ICARDA.
- Gauthier J., 1991.** *Notions d'agriculture. Rue Michel-Haidy, 575p.*
- Godon B., Willm C., 1998.** Les industries de première transformation des céréales, édition Lavoisier, Pp.58.61.63.
- Godon B., Willm C., 1991.** Les industrielles de première transformation des céréales. Technique et documentation – Lavoisier.
- Godon B., « Biotransformation des produits céréaliers », ed. Tec & Doc, Lavoisier, APRIA, Paris, 1991, 221 p.**
- Godon B., 1981.** *Le pain pour la science, 50. Paris.*

- Godon B., Willm C., 1991.** Biotransformation des produits céréaliers : les constituants des céréales : nature, propriétés et teneurs. Paris, Lavoisier, p. 1-19. (Collection sciences et techniques agro-alimentaires).
- Godon B., Willm C., 1998.** Les industries de première transformation des céréales, Ed. Tec & Doc, Lavoisier. Paris, pp. 66- 68.
- Godon B., Willm C.L., 1991.** Les industries de première transformation des céréales. Coll. Agro. Alimentaire. Lavoisier. Pp. 78 – 91.
- Godon, B et Willm, C. 1998.** Les industries de première transformation des céréales TECH. Et DOC. Lavoisier, Paris, 344-652 P.
- Grandvionnet P., et Praty B., 1994.** Les ingrédients des pâtes : farine et mixes. In la panification française. Ed. Tech et Doc.lavoisier.Pp.100-103.
- Grant L. A., Dick J. W., Shelton D. R., 1993.** Effects of drying temperature, starch damage, sprouting, and additives on spaghetti quality characteristics. *Cereal Chemistry*, 70.676-684p.
- Grignac P., 1984.** Blé dur : Production française bulletin technique d'information N°390 Pp 295-301.
- Hamadache A. 2013.** Eléments de Phytotechnie Générale. Grandes Cultures. Tome 1 Le blé, P 256.
- Hamadache, A. 2013.** Eléments de phytotechnie générale : Grandes Culture- Tom I : Le blé. 1ère édition. Mohamed Amrani. 49-69.
- Herizi H et Gahfif M., 2020.** Etude de la stabilité et l'adaptation de quelques variétés algériennes du blé dur (*Triticum durum* Desf) dans la zone semi-aride. Université MOHAMED EL BACHIR EL IBRAHIMI BBA.
- Hernandez J.A.Z., Santiveri F., Michelena A. and Pena R.J. 2004.** Durum wheat (*Triticum turgidum* L.) carrying the 1BL/1RS chromosomal translocation: agronomic performance and quality characteristics under Mediterranean conditions. *European Journal of Agronomy* 30.
- Houliaropoulos E., Abecassis J., Autran J.-C., 1981.** Produits de mouture du blé dur : coloration et caractéristiques culinaires. *Industries des céréales*, n. 12, p.p. 3-13.

- Huang. L, Brooks. S.A, Li. W.L, Fellers. J.P, Trick. H.N, Gill. B.S 2003.** « Map based cloning of leaf rust resistance gene Lr21 from the large and polyploid genome of bread wheat ». Genetics 164. p655–664.
- Hung P.V., Yamamori M., Morita N., 2005.** Formation of enzyme-resistant starch in bread as affected by high amylase wheat flours substitutions. Cereal Chemistry, 82.690-694p.
- Jacquemin L., 2012.** Production d'hémicellulose de pailles et de son de blé à une échelle pilote, étude de performance technique et évaluation environnementale d'un agro-procédé.
- Jeatet R., Croguennec T., Schuck P., Brule G. 2007.** Science des aliments : Biochimie Microbiologie Procédés- Produits. Paris : Lavoisier, p 140.
- Journal officiel de la république algérienne N° 55.20** Août 1997.
- King C.I, UTZ H.F., Munzing K., 2000.** Variation of quality traits in durumwheat in relation to variety and environment . In, Durum wheat, semolina and pasta quality. Inro Editions. Pp61-65.
- Kleijer G ; Levy I ; Schwerzei R ; Fossati D ; et Brabant C. 2007.** Relation entre le poids à l'hectolitre et plusieurs paramètres de la qualité dans le blé, revue suisse Agric.
- Kobrehel K. et Gautier M.F., 1974.** « Variability in peroxidase isozymes in wheat and related species », Can. J. Bot., 52, 755 p.
- Kovacs M. I. P., Poste L.M., Butler G., Woods S. M., Leisle D., Noll J. S., Dahlke G. 1995.** Durum Wheat Quality : Comparison of Chemical and Rheological Screening Tests With Sensory Analysis. Journal of Cereal Science, N° 25. pp.65 - 75.
- Kovacs M.I.P., Poste L.M., Butler G., Woods S.M. Leisle D., Noll J.S et Dahlek G., 1997.** Durum wheat quality. Composition of chemical and rheological screening test with sensory analysis. Journal of cereal science .25 : 65-75.
- Ladraa N., 2013.** Aptitude à la panification de quelques variétés de blé dur algérien. Thèse de Magister, école nationale supérieure d'agronomie, El-Harrach, Algérie. 133P.
- Lagnelet B., Kobrehel K., Feillet P., 1979.** Le problème de la coloration des pâtes alimentaires. Ind. Alim. Agric., vol.4, p.p. 418-425.
- Laingnelet B., Kobrehel K., Feillet P., 1972.** Le problème de la coloration des pâtes alimentaires Ind. Alim. Agric.. Vol. 89. P : 413-427.

- LECOQ R. 1965.** Manuel d'analyses alimentaires et d'expertises usuelles. Tome I. éd Deren et Cie.pp. 241 - 251.
- Lempereur I., Chaurand M., Abecassis J., et Autran J.C., 1997.** Valeur semoulière des blés durs (*triticum durum* Desf.) : influence de la taille des grains , industries des cereales, 104, 13-20.
- Linden G., Lorient D. 1994.** Biochimie agro-industrielle : Valorisation alimentaire de la production agricole. Ind. Alim. Et Biologiques. éd. Masson.pp. 70 - 80.
- Machiex J-J., 1996.** Moucheture le point sur les connaissances actes du colloque « perspectives blés durs ». toulouselabege.
- Mackey. J,** Species relations in Triticum, Proc.2nd International wheat genetic. Symposium. Herditas, 1968, 237P.
- Poponeaux Y., 1992.** Relation entre la structure et la fonctionnalité des HMW-Gluténines. Industrie des céréales.
- Porceddu, E., 1995.** Durum wheat quality in the Mediterranean countries.Seminar on Durum Wheat Quality in the Mediterranean Region, Zaragoza.CIHEAM-IAMZ.
- Sapirstein H. D., David P., Preston K. R., Dexter J. E., 2007.** Durum wheat breadmaking quality: Effects of gluten strength, protein composition, semolina particle size and fermentation time. Journal of Cereal Science, n.45, p.p. 150-161.
- Madani M., 2009.** Qualité technologique de quelques céréales (blé tendre, blé dur, orge et triticales) c/s du laboratoire de technologie de l'ITGC. P20.
- MADR, 2020.** Statistiques Agricoles Série B 09, ,65 P.
- MADR, 2020.** Ministère de l'Agriculture et du développement rural, statistiques agricoles.
- MADR, 2021.** Ministère de l'agriculture et du développement rural.
- Mahout B., 1996.** ' Comment évalue-t-on la qualité d'un blé dur'. Colloque perspective blé dur. ED. ONIC. ITFC. 31P, France.
- Mariche 0., 2000.** Effet de la fertilisation azotée sur la qualité technologique de deux variétés de blé dur. (*Triticum durum* desf). Mémoire Ing Blida.
- Masle M J., 1981.** Mise en évidence d'un stade critique par la montée d'une talle » Agronomie, 1, pp 623-632.

- Matsuo R.R., J.E. Dexter F.G. Kosmolak & D. Leisle 1982.** Statistical evaluation of tests for assessing spaghetti-making quality of durum wheat. *Cereal Chem.* 59(3): 222-228 ;
- Matsuo, R.R., Dexter, J.E., 1980b.** Composition of experimentally milled durum wheat semolina to semolina produced by some Canadian commercial mills. *Cereal Chemistry*, vol.57, p.p. 117- 122 ; **Lampereur I., Chanrand M., Abecassis J., Atran J.C., 1997.** Valeur semoulière des blés durs (*Triticum durum* Desf). influence de la taille des grains. *Ind.céréales*, vol.104, p.p.13-20.
- Matveef M., 1966.** Influence du gluten des blés durs sur la valeur des pâtes alimentaires *Bull. anc. Elèves*, ed. Fr meunerie, vol. 213, p.p. 133-138.
- Mebtouche K., 1998.** Caractérisation technologique de quelques lignées de blé dur In : *Céréaliculture N°32. Revue technique et scientifique de l'ITGC. Alger*, pp 27-33.
- Mekliche L. 2009.** Etude comparative de quelques variétés de blé dur (*Triticum durum* Desf) et analyse diallèle de leurs hybrides F1. INSTITUT NATIONAL D'AGRONOMIE –EL HARRACH – ALGER.
- OHM J.B., Klindworth D.L., Hareland G.A., Faris J.D., Elias E.M., XU S.S., 2010.** Variation in kernel characteristics and protein molecular weight distribution of Langdon durum-wild emmer wheat chromosome substitution lines. *Journal of Cereal Science*, vol.52, p.p. 207-214.
- Okenza Y., 2000.** Caractérisation technologique et biochimiques de quelques variétés de blé dur algérien. Thèse magister. INA ; Alger.
- Osborne T.B., 1907.** The proteins of the wheat kernel. Carnegie Institute, Washington .Publ.84. pp 1-119.
- Pannozo J. F., Eagles H.A., Wootton M., 2001.** « Changes in protein composition during grain development in wheat ». *Australian Journal of Agriculture Reserch.* 52, 485-493.
- Panozzo. JF., Eagles, H.A., Wootton, M., 2001.** Changes in protein composition during grain developement in wheat. *Australian journal of AgricultureResearch*, 52, 482-493.
- Payne P., Jackson E.A., et Holt L.M., 1984.** The association between γ -gliadin 45 and gluten strength in durum wheat varieties : A direct causal effect or the result genetics linkage. *J. Cereal Sci . N°2*, Pp : 733.

- Pena r. J., 2000.** Durum wheat for pasta and breadmaking. Comparaison of methods used in breeding to determine gluten quality-related parameters. CIHEAM. Options méditerranéennes, p.p. 423-430.
- Peterson C.J., Johnson V.A., and Mattern P. J., 1986.** Influence of Cultivar and Environment on Mineral and Protein Concentrations of Wheat Flour, Bran, and Grain. Copyright by the American Association of Cereal Chemists, Inc. CerealChem63: pp183-186.
- Petitot M., 2009.** Pâtes alimentaires enrichies en légumineuse. Structuration des constituants au cours du procédé : impact sur la qualité culinaire et les propriétés nutritionnelles des pâtes[en ligne]. Thèse de doctorat en sciences agronomiques de montpellier. 246 p.
- Petitot M., Boyer L., Minier C., Micard V., 2010.** Fertilisation of pasta with split pea and faba bean flours : pasta processing and quality evaluation. Food Desarch International. 43, 634-641.
- Petitot M., Boyer L., Minier C., Micard V., 2010.** Fortification of pasta with split pea and Fababean flours : pasta processing and quality evaluation. Food Recherche International. 43, 634-641
- Porceddu E., 1995.** Durum wheat quality in the Mediterranean countries. 11-30 p.
- Pousset J., 2000.** Engrais verts et fertilisation des sols, Eds agri-décisions.287P.
- Prats J., 1966.** La fertilisation raisonnée. Ministre de l'agriculture. Direction générale de production et de marches .7 Edition. Paris .87p.
- Rharrabti, Y., C. Rojo, D. Villegas, N. Aparicio, and L.F. GarciadelMoral., 2003.** Durum wheat quality in Mediterranean environments I. Quality expression under different zones, latitudes and water regimes across Spain. Field Crops Res.80: 1236131.
- Ripetti-Ballester V., Chaurand M., et Roumat P.,** « Prédiction du rendement en semoule par spectroscopie proche infrarouge sur grains entiers », Options Méditerranéennes, série A, 2000, pp: 489-491.
- Ripetti-Ballester V., Chaurand M., ET Roumat P., 2000.** « Prédiction du rendement en semoule par spectroscopie proche infrarouge sur grains entiers », Options Méditerranéennes, série A, 2000, pp : 489-491.
- Rousset M., et Autran J. 1979.** La qualité des blés. Poun, 15-42.

- Royo C., Elias M. E., Manthey F. A., 2009.** Durum Wheat Breeding. In : Handbook of plant breeding. Cereals Springer, p.p. 198-219.
- Ruel T., 2006-** Document sur la culture du blé, Ed : Educagri.18p
- Sadouki M ET AL., 2018.** Etude de la variabilité morpho-physiologique du blé dur (*Triticum durum* Desf) dans les conditions climatiques du Haut Chélif. Thèse de mastère. Univ de Khemis-Miliana.46p.
- Saint P, C., Peterson, C.J., Ross, A.S., OHM, J.B ., Verhoeven, M.C., Larson, M., Hoefler, B., 2008.** Winter wheat genotypes under different levels of nitrogen and water stress : changes in grain protein composition. *J. Cereal Sci.*, vol.47, p.p.407–416.
- Saint Pierre, C., Peterson, C.J., Ross, A.S., OHM, J.B., Verhoeven, M.C., Larson, M., Hoefler, B., 2008.** Winter wheat genotypes under different levels of nitrogen and water stress : changes in grain protein composition. *J. Cereal Sci.*, vol.47, p.p.407–416.
- Samson M.F., Mabile F., Chéret R., Abécassis J., Morel M.H., 2004.** Mechanical and physiological characterization of vitreous and mealy durum wheat endosperm. *Cereal Chemistry* 82, 81-87.
- Selselet.A,** Technologie des céréales et produits céréaliers. Institut de technologie agricole de Mostaganem, 1991,147 p.
- Singh N., Kaur L., Sandhu K.S., Kaur J., Nishinari K., 2006.** Relationships between physic-chemical, morphological, thermal, rheological properties of rice starches. ELSEVIER. *Food Hydrocolloids* 20:532-542 p
- Sissons M. 2008.** Role of durum wheat composition on the quality of pasta and bread. *Food. Global science books.* Vol 2. N° 2. Pp 75- 90.
- Sissons M.J., Soh H.N., Turner M.A., 2007.** Role of gluten and its components in influencing durum wheat dough properties and spaghetti cooking quality. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 87, 1874-1885.
- Smadhi L., Zella L², Semaini M¹, Chabane A¹, Fejer M Z³. 2015.** Evaluation des cultures céréalières (1876-2011) en Algérie et perspective, recherche agronomique N 27.
- Soh H.N., Sissons M.J., Turner M.A. 2006.** Effect of starch granule size distribution and elevated amylase content on durum dough rheology and spaghetti cooking quality. *Cereal chemistry* 83. Pp 513-519.

- Soltner D., 2005** : Les grandes productions végétales, 20ème édition, collection des sciences et techniques agricoles. 245p.
- Soltner D., 2005**. Phytotechnie spéciale : les grandes productions végétales : céréales, plantes sarclées, prairies. Sciences et techniques agricoles, Angers. 472p. (Collection Sciences et techniques agricoles).
- Soltner., 2007**. Les bases de la production végétales.
- Souci S. W., Fachmann W., Kraut H., 1994**. La composition des aliments. Tableaux des valeurs nutritives Med pharm scientific publishers, 5ème édition, Stuttgart : 1091p
- Sung W.C., Stone M., 2003**. Characterization of various wheat starches in pasta development. Journal of Marine Science and Technology, Vol. 11, No. 2, pp. 61-69.
- Surget, A., Barron, C., (2005)**. Histologie du grain de blé, Industrie des céréales. p4-7, 145. Vascularplants. Herbar Marie-Victorin, Institut de recherche en biologie végétale, Université de www.Fao.org. 03/01/2013.
- Taha S.A., Sagi F. 1987**. Relationships between chemical composition of durum wheat semolina and macaroni quality. II. ASH, carotenoid pigments and oxidative enzymes. Cereal Rzs. Commun. 15. pp 123-129.
- Trentesaux E., 1995**. Evaluation de la qualité du blé dur. CIHEAM. Options méditerranéennes. p.p. 53-59.
- Veraverbeke, W.S., Delcour, J.A., 2002**. Wheat protein composition and properties of wheat glutenin in relation to bread making functionality. Critical Reviews in Food Science and Nutrition, vol.42, p.p.179-208.
- Wang L., Li G., Pena R.J., Xia X. & He Z. 2010**. Development of STS markers and establishment of multiplex PCR for Glu-A3 alleles in common wheat (*Triticum aestivum*). Journal of Cereal Science, 51: 305-312.
- Wardlaw I.F., 2002**. Interaction between drought and chronic high temperature during kernel filling in wheat in a controlled environment. Annals of botany : 90.
- Whan R.W. , Colton G. P. , Anderson W.K., 1996**. Potentiel from increasing rate of grain growth in spring wheat identification of genetic improvement. Aust.Jal. Agri. Res. 12.17-31.

Williams S. 1998. Commission canadienne des graines : mise au point de variété et contrôle de la qualité du blé au Canada. Pp1-12.

Williams S., Harmein F., Nakhoul H et Rihaur S., 1988. Crop quality evaluation methods and guidelines. Second édition. Pp :13-16.

Yves H., et Buyer J., 2000. L'origine des blés. Pour les sciences hors-série (26). 60-62 p.

Références web

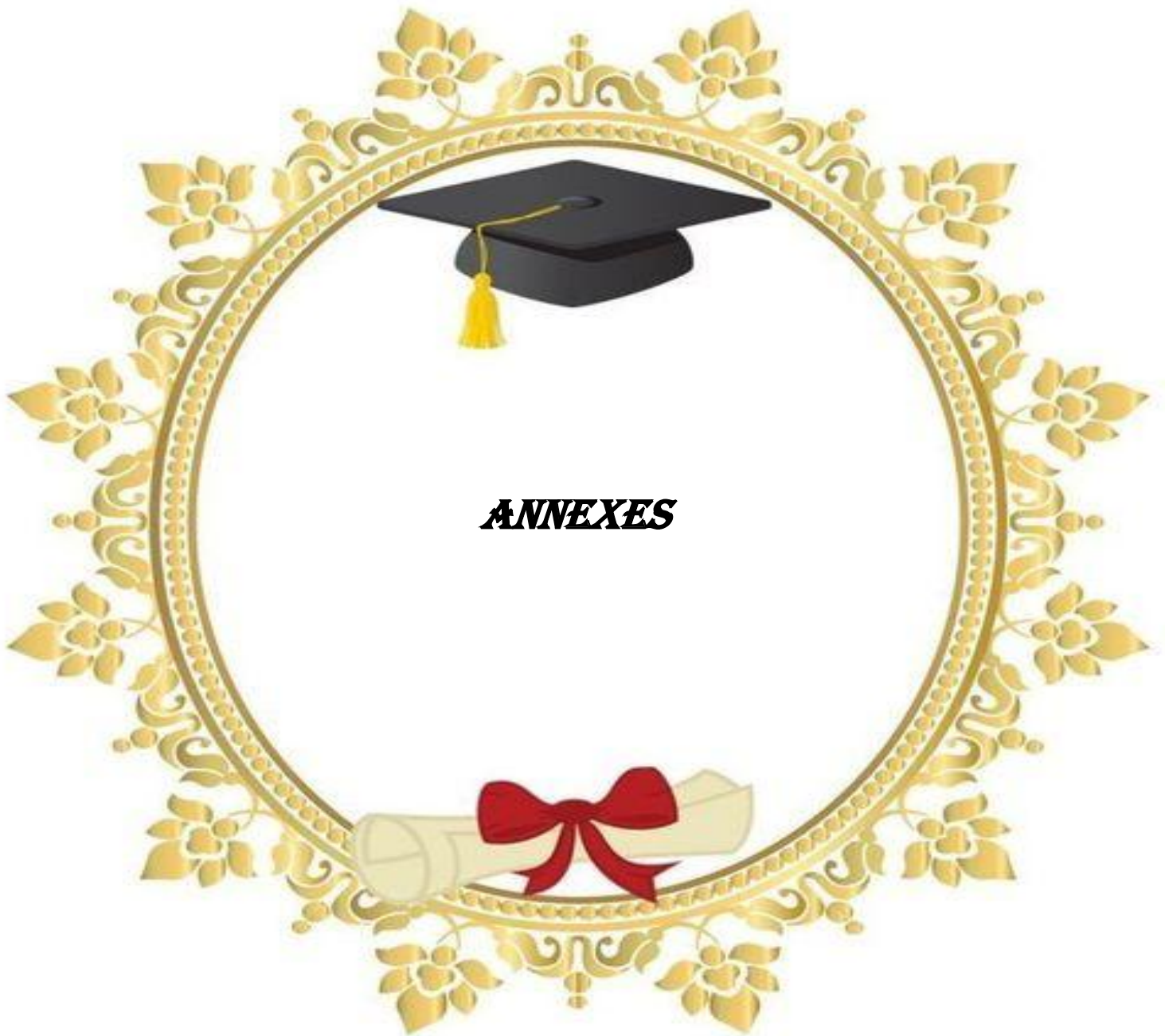
Www. plb.ucdavis.edu.

www.agro.basf.fr.

www.-plb.ucdavis.edu

Www.fr.wikipedia.org

Www. Espace parian information 2022.



ANNEXES

Annexe 01

a. Tableau de l'ANOVA pour de l'humidité des grains des blés étudiés

	SC	Degr. De	MC	F	p
ord. origine	2612,922	1	2612,922	54835,72	0,0000
variété	44,549	8	5,569	116,86	0,0000
Erreur	0,429	9	0,048		

b. Tableau de l'ANOVA pour l'humidité des semoules des blés étudié

	SC	Degr. de	MC	F	p
ord. Origine	2919,244	1	2919,244	877235,3	0,0000
Variété	35,778	8	4,472	1343,9	0,0000
Erreur	0,030	9	0,003		

c. Tableau de l'ANOVA du PS des variétés de blés étudiés

	SC	Degr. de	MC	F	p
ord. Origine	110363,9	1	110363,9	680908,1	0,0000
Variété	186,3	8	23,3	143,7	0,0000
Erreur	1,5	9	0,2		

d. Tableau de l'ANOVA pour le poids de mille grains des blés étudiés

	SC	Degr. De	MC	F	p
ord. Origine	24461,77	1	24461,77	1326241	0,000000
Variété	641,33	8	80,17	4346	0,000000
Erreur	0,17	9	0,02		

e. Tableau de l'ANOVA pour les taux de moucheture des blés étudiés.

	SC	Degr. De	MC	F	p
ord. origine	1,125000	1	1,125000	2025,000	0,000000
Variété	9,000000	8	1,125000	2025,000	0,000000
Erreur	0,005000	9	0,000556		

g. Tableau de l'ANOVA pour des degrés de mitadinage des blés étudiés.

	SC	Degr. De	MC	F	p
ord. origine	2,20500	1	2,205000	1984,500	0,000000
variété	12,08560	8	1,510700	1359,630	0,000000
Erreur	0,01000	9	0,001111		

k. Tableau de l'ANOVA pour des degrés de mitadinage des blés étudiés.

	SC	Degr. de	MC	F	p
ord. origine	46966,02	1	46966,02	4242,641	0,000000
variété	476,91	8	59,61	5,385	0,010515
Erreur	99,63	9	11,07		

l. Tableau de l'ANOVA pour Du taux de cendres des blés étudiés.

	SC	Degr. De	MC	F	p
ord. origine	25,65667	1	25,65667	15761,78	0,000000
variété	4,20918	8	0,52615	323,23	0,000000
Erreur	0,01465	9	0,00163		

m. Tableau de l'ANOVA pour la teneur en protéines des blés durs étudiés.

	SC	Degr. de	MC	F	p
ord. Origine	5009,004	1	5009,004	36057,62	0,000000
Variété	8,389	8	1,049	7,55	0,003259
Erreur	1,250	9	0,139		

n. Tableau de l'ANOVA pour l'indice de jaune des blés durs étudiés.

	SC	Degr. d	MC	F	p
ord. Origine	5798,389	1	5798,389	6301,673	0,000000
Variété	735,977	8	91,997	99,982	0,000000
Erreur	8,281	9	0,920		

O. Tableau de l'ANOVA pour l'indice de brun des blés durs étudiés.

	SC	Degr. De	MC	F	p
ord. origine	4332,253	1	4332,253	4524,941	0,000000
variété	39,382	8	4,923	5,142	0,012247
Erreur	8,617	9	0,957		

P. Tableau de l'ANOVA pour l'indice de sédimentation en SDS des blés durs étudiés.

	SC	Degr. de	MC	F	p
ord. origine	32258,00	1	32258,00	13196,45	0,000000
variété	1536,00	8	192,00	78,55	0,000000
Erreur	22,00	9	2,44		

q. Tableau de l'ANOVA pour l'indice du gluten humide des blés durs étudiés.

	SC	Degr. de	MC		p
ord. origine	32680,17	1	32680,17	1	0,000000
variété	779,73	8	97,47	4	0,000002
Erreur	17,67	9	1,96		

r. Tableau de l'ANOVA pour l'indice du gluten sec des blés durs étudiés.

	SC	Degr. de	MC	F	p
ord. origine	3992,009	1	3992,009	43782,70	0,000000
variété	73,907	8	9,238	101,32	0,000000
Erreur	0,821	9	0,091		

s. Tableau de l'ANOVA pour l'indice du gluten index des blés durs étudiés.

	SC	Degr. de	MC	F	p
ord. origine	17880,67	1	17880,67	315,8581	0,000000
variété	11497,04	8	1437,13	25,3866	0,000027
Erreur	509,49	9	56,61		

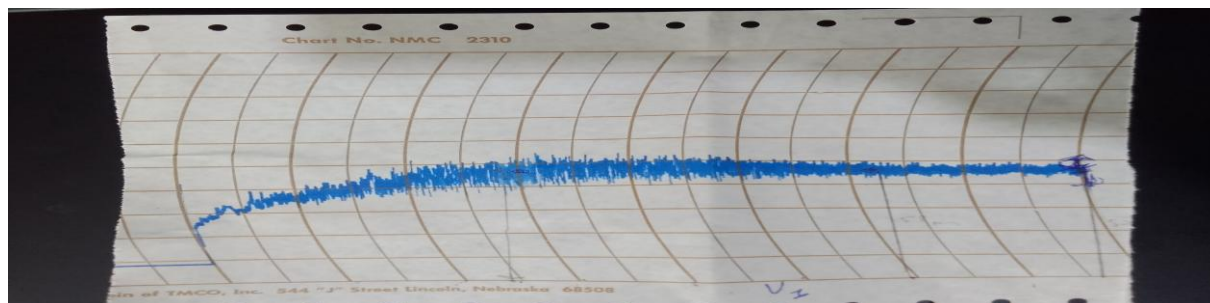
t. Tableau de l'ANOVA pour l'indice de la capacité d'hydratation des blés durs étudiés.

	SC	Degr. de	MC	F	p
ord. Origine	72005,07	1	72005,07	52161,62	0,000000
Variété	403,03	8	50,38	36,50	0,000006
Erreur	12,42	9	1,38		

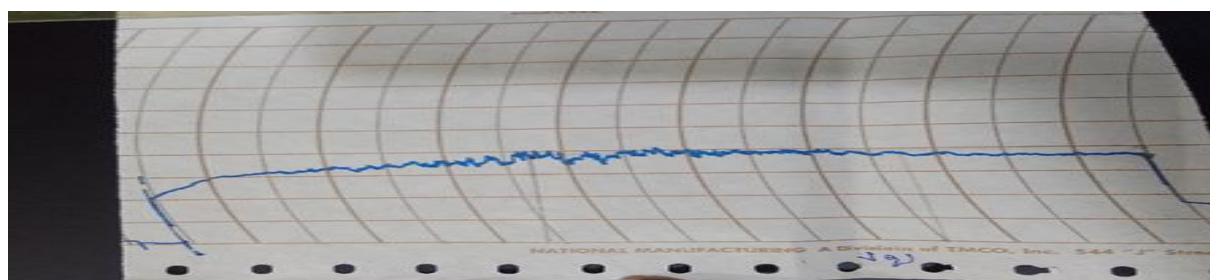
Annexe 2

Les mixogrammes obtenus des variétés de blé dur étudiées

Témoin



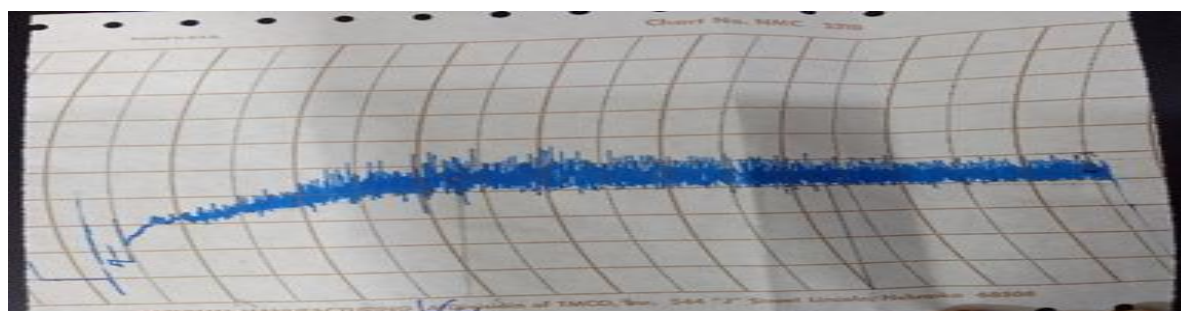
Variété 01



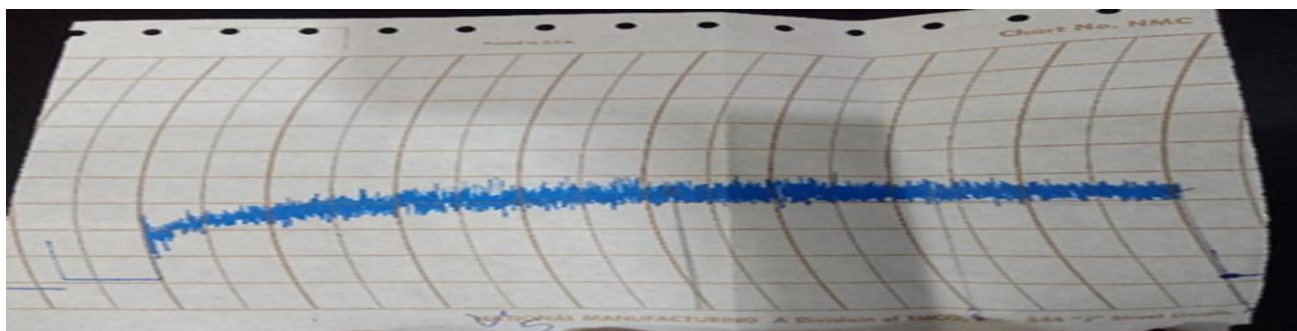
Variété 02



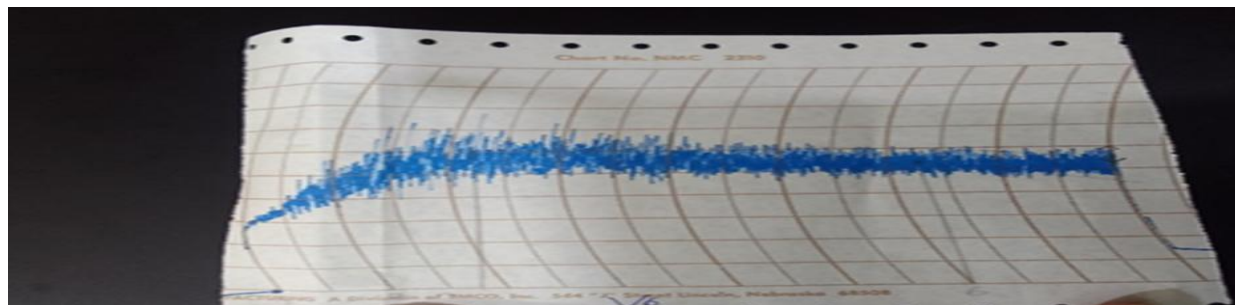
Variété 03



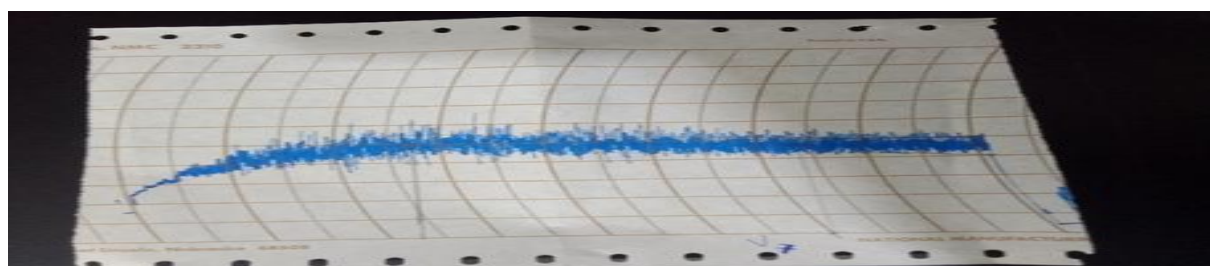
Variété 04



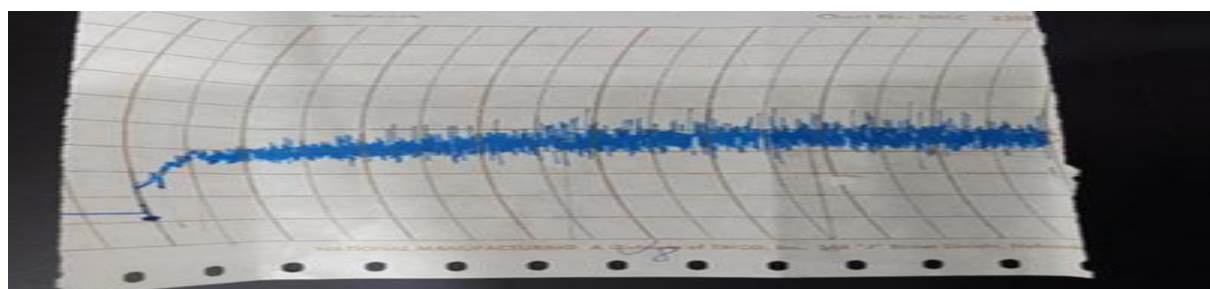
Variété 05



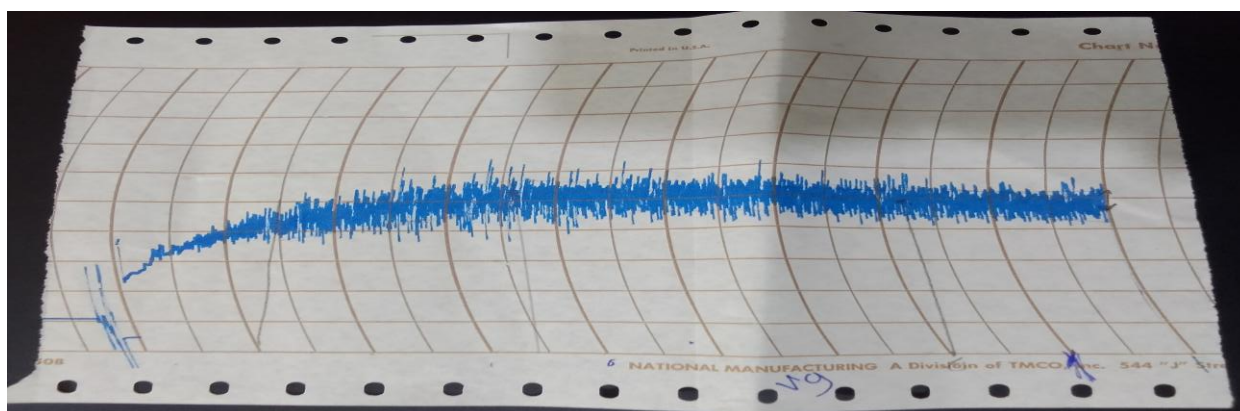
Variété 06



Variété 07

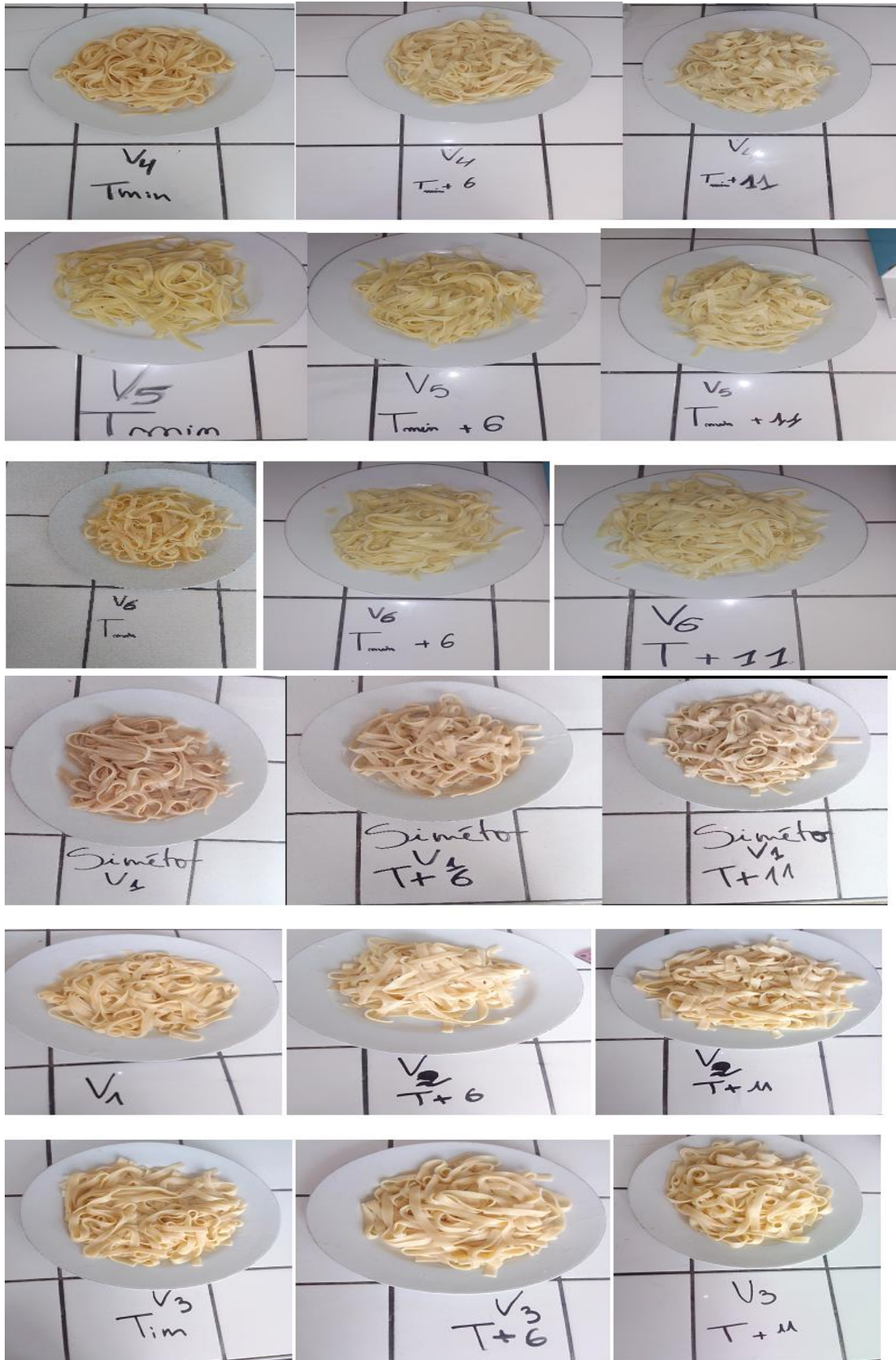


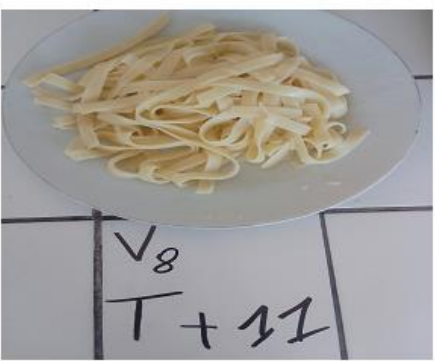
Variété 08



Annexe 3

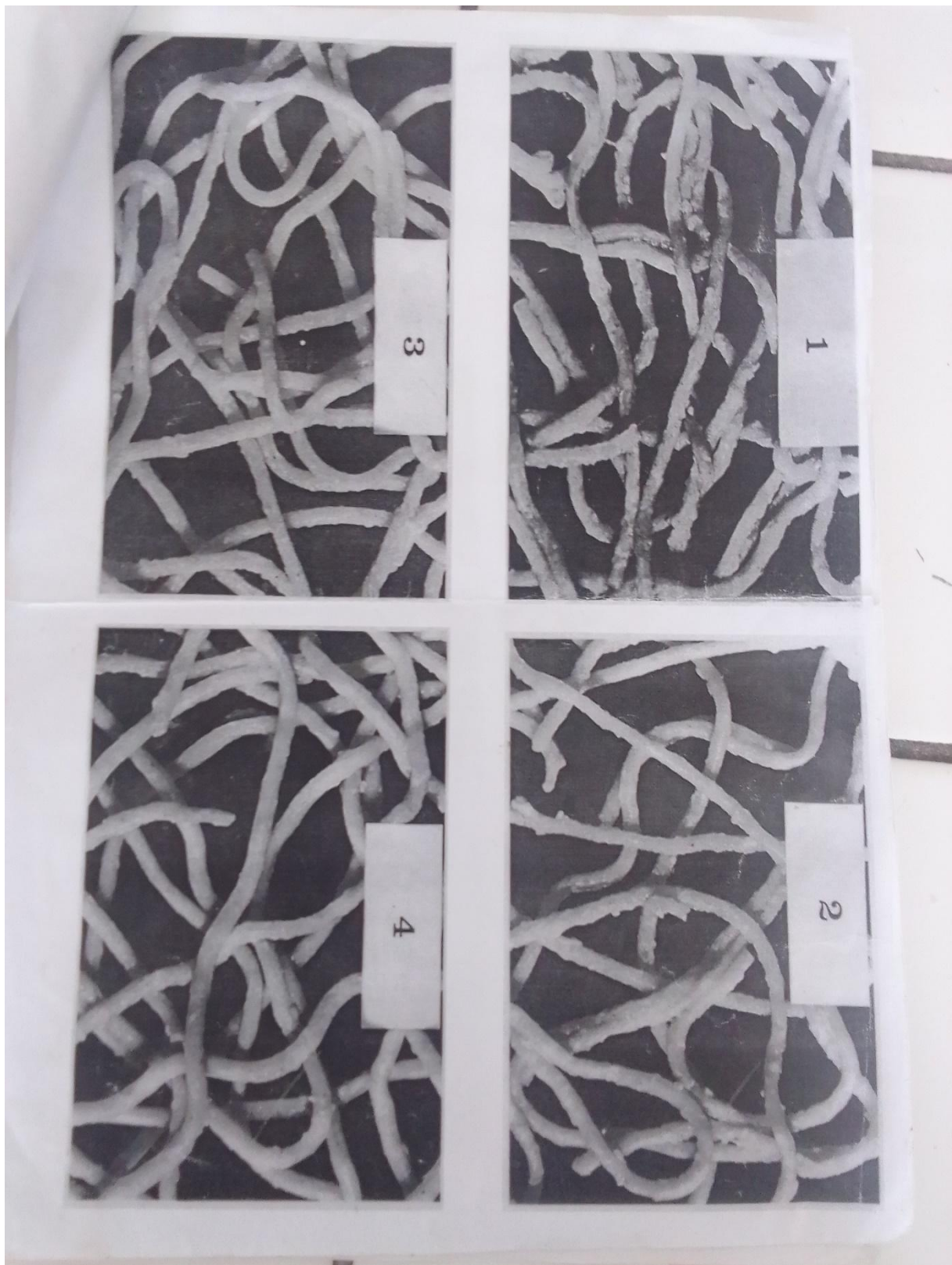
Qualité culinaire des pâtes obtenues des semoules des variétés de blé étudiées

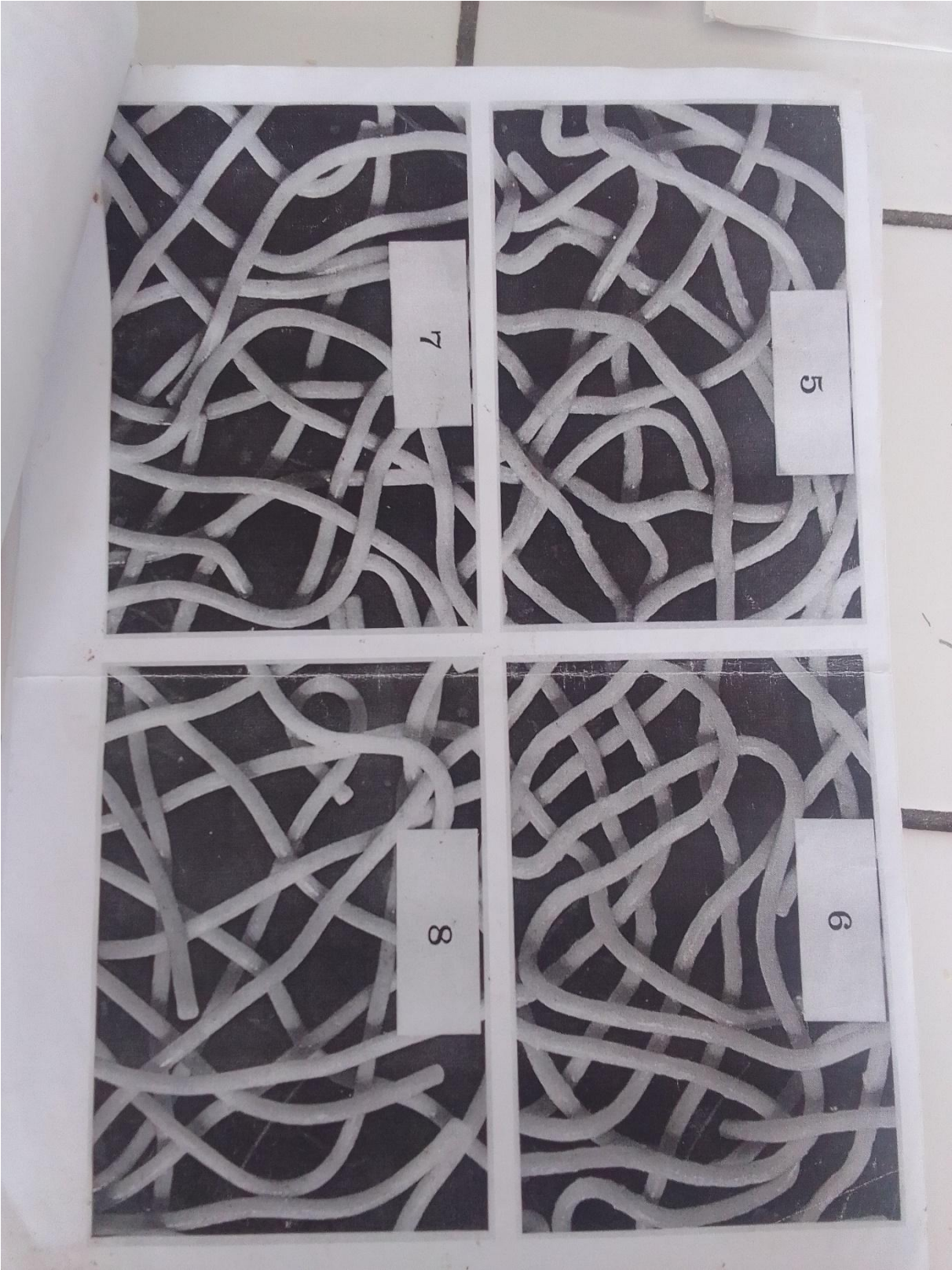




ANNEXE 4

Photos témoins des normes de l'appréciation de la qualité culinaire des pâtes.





Résumé

L'étude a pour objectif de déterminer la qualité technologique des nouvelles variétés de blé étudiées de la FDPS ITGC de Tiaret pendant la campagne 2021/2022 et leur homologation au centre national de contrôle et de certification d'El-Harrach. Des analyses physico-chimiques et technologiques ont été effectuées, révélant une bonne résistance à la mitadinage et à la moucheture. Les résultats ont montré un rendement modéré à faible, un bon contenu en gluten, une bonne capacité de stockage des céréales, une coloration correcte et une consistance moyenne dans le mixographe. L'évaluation de la qualité culinaire a indiqué une bonne qualité.

Mots clés : Analyse physico-chimique, qualité Technologique, Qualité culinaire.

ملخص

تهدف هذه الدراسة إلى تحديد الجودة التكنولوجية لأصناف القمح الجديدة التي تمت دراستها من قبل المركز الوطني للرقابة وإصدار الشهادات في تيارت خلال السنة التسويقية 2021/2022 ، وإصدارها في المركز الوطني للرقابة وإصدار الشهادات في الحراش. وقد أُجريت تحاليل فيزيائية وتكنولوجية كشفت عن مقاومة جيدة للميتاديناج والتبقع. أظهرت النتائج إنتاجية معتدلة إلى منخفضة، ومحتوى جيدة من الغلوتين، وقدرة جيدة على تخزين الحبوب، وتلوينا صحيحا، وتناسقا متوسطا في جهاز الخلط. تم تقييم جودة الطهي على أنها جيدة.

الكلمات المفتاحية: تحليل الفيزياء الكيمائية، جودة التكنولوجيا، الجودة المطبوعة.

Summary

The study aimed to determine the technological quality of new studies wheat varieties from the FDPS ITGC of Tiaret during the 2021/2022 campaign and their homologation at the national control and certification center in El-Harrach. Physico-chemical and technological analyses were conducted, revealing good resistance to mitadinage and moucheture. The results showed a moderate to low yield, good gluten content, good grain storage ability, correct coloration, and average consistency in the mixograph. The evaluation of culinary quality indicated good culinary quality.

Keywords: Physico-chemical analysis, Technological quality, Culinary quality.