



UNIVERSITY MOHAMED EL BACHIR EL IBRAHIMI
BORDJ BOU ARRERIDJ

UNIVERSITY MOHAMED EL BACHIR EL IBRAHIMI
BORDJ BOU ARRERIDJ

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

République Algérienne Démocratique et Populaire

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

جامعة محمد البشير الإبراهيمي برج بوعريريج

Université Mohamed El Bachir El Ibrahimi - B.B.A.

كلية علوم الطبيعة والحياة وعلوم الارض والكون

Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie et des Sciences de la Terre et de l'Univers

قسم العلوم الفلاحية

Département des Sciences Agronomiques



UNIVERSITY MOHAMED EL BACHIR EL IBRAHIMI
BORDJ BOU ARRERIDJ

UNIVERSITY MOHAMED EL BACHIR EL IBRAHIMI
BORDJ BOU ARRERIDJ

Mémoire

En vue de l'obtention du Diplôme de Master

Domaine : Sciences de la Nature et de la Vie

Filière : Sciences Agronomiques

Spécialité : Amélioration des plantes

Intitulé

**Contribution à l'étude de quelques caractères
technologiques chez des lignées avancées de blé dur**

(*Triticum durum* Desf.)

**Présenté par : KHOUDOUR Nor-el-houda
MAHMOUDI Asma**

Devant le jury :

Président :	M ^r OULD KIAR Redha	MAA	Université BBA
Encadrant :	M ^r FELLAHI Zine El Abidine	MCA	Université BBA
Examineur :	M ^r BELGUERRI Hamza	MAB	Université BBA

Année universitaire : 2019/2020

Remerciements

Tout d'abord, louange à Dieu qui nous a guidés sur le droit chemin, et à travers ce travail, il nous a inspirés à faire de bonnes actions et à corriger les réactions, et nous a donné de la volonté et du courage.

Nous exprimons nos sincères remerciements et notre gratitude à tous les membres du jury pour avoir évalué ce travail, tant les professeurs OULD KIAR Redha et BELGUERRI Hamza et en particulier le professeur FELLAHI Zine El Abidine qui nous a tous accompagnés. Prenez le temps et faites tout ce qui est en votre pouvoir pour terminer ce travail avec vos sincères remerciements et gratitude.

Nous adressons une mention spéciale à Mr. KHOUDOUR Al Hussein, chef du laboratoire Ben Hammadi, à Mme. ALLOUN Maria et Mme BENSAAD Karima.

Nous remercions sincèrement le directeur des moulins Gerbier groupe Ben Hamadi, Monsieur BEN HAMMADI Abdel Karim, qui a accepté de nous accueillir dans les circonstances particulières liées au virus Covid 19.

Sa conclusion a été un grand merci à M. Toufik ALIAT, qui a été une source d'inspiration, de défi et de soutien en toutes circonstances et en toutes circonstances.

Nous sommes fiers de remercier tous ceux qui nous ont accompagnés et qui nous ont encouragés à atteindre notre objectif, et nous nous empressons de mentionner le Département de sélection végétale avec tout son personnel et ses professeurs qui ont poursuivi notre discussion de la meilleure façon possible.

En guise de remerciement unique à nos camarades de classe formés avec nous à Master 2 Amélioration des plantes, nous avons eu un grand honneur de vous accompagner tout au long du voyage éducatif plein de souvenirs et de situations merveilleuses et inoubliables.

Nous devons également remercier toutes les personnes qui ont participé directement ou indirectement à la rédaction de ce mémoire.

Dédicace

Nous dédions cette activité en premier lieu,

À nos merveilleuses mères, en particulier : RIGIE Samira, ALLOUN Saliha et nos parents, notre soutien dans la vie : Mahmoudi Youssef et KHOUDOUR Ferhat.

Un témoignage de leur soutien tout au long de notre vie parce que les mots ne peuvent exprimer notre grande gratitude et notre profonde affection.

À nos grands-parents et frères ...

À chaque membre de la famille ...

Tous nos amis et compagnons de route ...

Et pour tous ceux qui ont contribué à ce travail.

SOMMAIRE

Liste des figures et photos

Liste des tableaux

Liste des abréviations

Introduction..... 01

CHAPITRE I : REVUE BIBLIOGRAPHIQUE

I.1. Origine géographique et génétique des blés 03

I. 1.1. Origine géographique 03

I. 1.2. Origine génétique et diversité du blé 03

I.2. Situation économique et importance alimentaire du blé dur 05

I.2.1. Dans le monde 05

I.2.2. En Algérie 07

I.3. Composition et structure du grain de blé 07

I.3.1. Histologie et structure 07

I.3.1.1. Les enveloppes 08

I.3.1.2. Le germe 08

I.3.1.3. L'albumen 08

I.3.2. Composition biochimique 09

I.3.2.1. L'eau 09

I.3.2.2. Les glucides 09

I.3.2.3. Les lipides 09

I.3.2.4. Les vitamines 10

I.3.2.5. Les enzymes 10

I.3.2.6. Les minéraux 10

I.3.2.6. Les protéines 10

I.4. Les principaux débouchés du blé dur 12

I.4.1. Les semoules 12

I.4.1.1. Semoules grosses (SG) 12

I.4.1.2. Semoules grosses moyennes (SGM) 12

I.4.1.3. Semoules sassées super extra (SSSE) 12

I.4.1.4. Semoules sassées super fine (SSSF) 12

I.4.2. Les pâtes alimentaires 12

I.4.3. Le couscous 12

I.4.4. Le fric 13

I.5. Sélection pour la qualité technologique du blé dur	13
CHAPITRE II : MATERIEL ET METHODES	
II.1. Matériel végétal.....	15
II.2. Analyses effectuées sur le grain	15
II.2.1. Poids de mille grains	15
II.2.2. Poids spécifique	16
II.2.3. Taux de mitadinage et le taux de vitrosité	16
II.2.4. Humidité	17
II.2.5. Taux de cendres	17
II.2.6. Taux de protéines, de gluten humide et dureté de grain	17
II.3. Analyses effectuées sur la semoule	18
II.4. Analyses des données.....	18
CHAPITRE III : RESULTATS ET DISCUSSION	
III.1. Analyses effectuées sur le grain	19
III.1.1. Analyse de la variance	19
III.1.2. Etude des valeurs moyennes	20
III.1.2.1. Poids de mille grains	20
III.1.2.2. Poids spécifique	20
III.1.2.3. Dureté de grain	22
III.1.2.4. Vitrosité du grain	22
III.1.2.5. Taux de mitadinage	23
III.1.2.6. Humidité du grain	25
III.1.2.7. Teneur en protéines	25
III.1.2.8. Teneur en gluten humide	26
III.1.2.9. Teneur en cendres	27
III.1.2.10. Rendement en grains.....	28
III.2. Analyses effectuées sur la semoule	29
III.2.1. Analyse de la variance	29
III.2.2. Etude des valeurs moyennes	30
III.2.2.1. Indice de brune	30
III.2.2.2. Capacité d'hydratation	31
III.2.2.3. Force boulangère	32
III.3. Corrélations phénotypiques inter-caractères	32
Conclusion.....	35
Références bibliographiques.....	36

Liste des figures et photos

Figure 01: Origine génétique possibles du blé	04
Figure 02 : Principaux producteurs mondiaux de blé dur en 2016 et 2017	06
Figure 03 : Coupe longitudinale d'un grain de blé	08
Figure 04 : Valeurs moyennes du poids de mille grains des lignées et des témoins de blé dur	21
Figure 05 : Valeurs moyennes du poids spécifique des grains des lignées et des témoins de blé dur	21
Figure 06 : Valeurs moyennes de la dureté du grain des lignées et des témoins de blé dur	22
Figure 07 : Valeurs moyennes de la vitrosité du grain des lignées et des témoins de blé dur	23
Figure 08 : Valeurs moyennes du taux de mitadinage des lignées et des témoins de blé dur	24
Figure 09 : Valeurs moyennes de l'humidité du grain des lignées et des témoins de blé dur	25
Figure 10 : Valeurs moyennes de la teneur en protéines du grain des lignées et des témoins de blé dur	26
Figure 11 : Valeurs moyennes du taux de gluten humide du grain des lignées et des témoins de blé dur	27
Figure 12 : Valeurs moyennes du taux de cendres du grain des lignées et des témoins de blé dur	28
Figure 13 : Valeurs moyennes du rendement en grains des lignées et des témoins de blé dur	29
Figure 14 : Valeurs moyennes de l'indice de brune de la semoule des lignées et des témoins de blé dur	30
Figure 15 : Valeurs moyennes de la capacité d'hydratation chez les lignées et des témoins de blé dur	31
Figure 16 : Valeurs moyennes de l'indice W décrivant la force boulangère des lignées et des témoins de blé dur	32
Figure 17 : Ecarts (%) relatifs des performances moyennes de L3, L5 et L6 comparativement à celle de GTA dur	34

Photo 01 : Le Nilema-litre utilisé pour mesurer le poids spécifique	16
Photo 02 : L’Inframatic IM 9500 utilisé dans cette étude	18

Liste des tableaux

Tableau 01 : Bilan de blé dur en Algérie de 2010/11 à 2019/20	07
Tableau 02 : Liste, pédigrée et origine des géotypes de blé dur évalués	15
Tableau 03 : Carrés moyens de l'analyse de la variance des variables mesurées sur le grain	19
Tableau 04 : Valeurs moyennes, minimales, maximales et écart-types des variables mesurées sur le grain	20
Tableau 05 : Carrés moyens de l'analyse de la variance des variables mesurées sur la semoule	29
Tableau 06 : Valeurs moyennes, minimales, maximales et écart-types des variables mesurées sur la semoule	30
Tableau 07 : Corrélations phénotypiques entre les variables mesurées chez les géotypes de blé dur	33

Liste des abréviations

AFNOR : Association française de normalisation

CIC : Conseil International des Céréales

CIMMYT : Centre International pour l'Amélioration du Maïs et du Blé

ICARDA : International Center for Agricultural Research in the Dry Areas

INRAA : Institut National de la Recherche Agronomique d'Algérie

ISO : International Organization for Standardization

MADRP : Ministère de l'Agriculture et du Développement Rural et de la Pêche

OAIC : Office Algérien Interprofessionnel des Céréales

Introduction

Les blés sont les céréales les plus cultivées à l'échelle mondiale. Ils contribuent pour plus de 20 % de calories et de protéine dans l'alimentation humaine et sont utilisés par plus de 35% de la population du monde répartie dans plus de 40 pays (**Curtis et al., 2002**).

En Algérie, le blé dur est une culture ancestrale dont le produit constitue la base de l'alimentation de la population sous diverses formes notamment semoule et pâtes (**Hannachi, 2013**) dans lequel, la consommation nationale en blé dur varie entre 2900 et 3500 tonnes par an en 2017 selon le ministère d'agriculture (**MADRP, 2017**).

Aujourd'hui, le consommateur est devenu plus exigeant sur la qualité des pâtes et de semoule, ce qui nécessite un blé dur de bonne qualité technologique. Les traits de qualité du blé sont généralement influencés par les génotypes, les facteurs environnementaux et leurs interactions tel que le teneur en gluten, les conditions environnementales défavorables pendant l'anthèse et la période de remplissage du grain ont été identifié comme une contrainte majeure à la qualité du blé dans le monde (**Jiang et al., 2009**).

La qualité technologique est une préoccupation permanente pour garantir la valeur commerciale des produits et la sécurité des consommateurs ; l'industrie de transformation occupe une place « leader » dans le secteur des industries agro-alimentaires (**Djermoun, 2009**). Selon les dernières statistiques, l'Algérie commence à atteindre l'autosuffisance en de production de blé dur (**OAIC, 2018**), mais l'importation de blé est obligatoire puisque la production locale des blés de qualité technologique reste non satisfaisante. Cette qualité est normalement trouvée chez les blés commercialisés sur le marché mondiale (**Sakr et Hajj Moussa, 2007**).

La recherche de variétés produisant un rendement élevé en grains peut aboutir à l'obtention de variétés de mauvaise qualité, en particulier de mauvais rendement semoulier. En débit des taux de protéines qui influent sur la qualité culinaire, d'autre trait de la qualité à savoir les caractéristiques physiques du grain de blé tel le mitadinage le poids spécifique et le poids de milles grain influent sur le rendement et sur la qualité semoulière. Pour cette raison, une attention particulière est prêtée aux valeurs nutritionnelles et technologiques des cultivars obtenus. L'étude des paramètres technologiques sert de critères de sélection dans le programme d'amélioration génétique (**Benbelkacem et al., 1995**).

Il est, alors, impératif d'introduire des variétés mieux adaptées aux conditions climatiques du pays, favorisant ainsi une production de qualité qui répond le mieux aux

besoins des minotiers et consommateurs. Dans ce contexte, le présent travail vise à étudier la variabilité de la qualité technologique des grains et de la semoule de douze (12) génotypes de blé dur (*Triticum durum* Desf.) dont deux (02) variétés témoins GTA dur et Bousselam, et 10 lignées avancées (de nouvelles sélections) issus du programme d'amélioration de blé de l'INRAA, unité de recherche de Sétif.

Notre mémoire s'articule, en plus de l'introduction et la conclusion, sur trois chapitres principaux. Le premier chapitre sera consacré aux généralités sur la culture de blé dur, la composition et structure du grain, les principaux débouchés du blé dur ainsi que la sélection pour la qualité technologique du blé dur. Le deuxième chapitre porte la méthodologie de travail adoptée et le troisième chapitre pour la présentation des résultats obtenus, la discussion et l'interprétation de chaque paramètre évalué. La conclusion résumera les résultats obtenus.

CHAPITRE I

REVUE BIBLIOGRAPHIQUE

I. Chapitre 1 : Revue bibliographique

I.1. Origine géographique et génétique des blés

I.1.1. Origine géographique

Le blé provient de la région sud-ouest de l'Asie, en particulier les régions montagneuses du Croissant fertile entre la côte méditerranéenne à l'Ouest et la plaine du Tigre et de l'Euphrate à l'Est est le principal centre de diversité et d'origine du genre *Triticum*. Ces zones représentent une grande variation morphologique et écologique de nombreuses espèces de *Triticum*, diploïdes et polyploïdes (**Feldman et Sears, 1981**).

Le blé a probablement été domestiqué entre 10000 et 15000 avant JC., depuis l'homme du Néolithique jusqu'à l'agriculteur. L'espèce *Triticum durum* (blé dur) s'est diversifié dans trois centres secondaires différents qui sont le bassin occidental de la méditerranée, le sud de la Russie et le Proche orient. Chaque centre secondaire donna naissance à des groupes de variétés botaniques de blé dur avec des caractéristiques morphologiques et physiologiques diverses (**Bozzini, 1988**).

La diversification morphologique a été mise à profit en sélection, notamment dans la recherche de gènes intéressants tels ceux qui contrôlent la résistance aux basses températures, plus présents chez les pôles Européens, ceux qui contrôlent la durée du cycle (précocité aux stades épiaison et maturité), chez les pôles Syriens et Jordaniens et ceux contrôlant la grosseur et la vitrosité du grain, chez les pôles Méditerranéens (**Monneveux, 1991**).

I.1.2. Origine génétique et diversité du blé

L'alloploïdie a joué un rôle fondamental dans l'évolution des plantes en permettant l'apparition de type nouveaux qui n'ont souvent que de lointains rapports avec les espèces qui leurs ont donné naissance (**Prevost, 1976**). De par leur constitution chromosomique, **Boyeldieu (1980)** et **Simon et al. (1989)** distinguent l'existence de trois sous-groupes de céréales :

- a) **Le groupe diploïde** ($2n = 14$ chromosomes) ou engrain.
 - *Triticum beoticum* ;
 - *Triticum monococcum*.
- b) **Le groupe tétraploïdes** ($2n = 28$ chromosomes) ou groupe de *Triticum dicoccum* (amidonnier) ; on distingue :
 - *Triticum diccocoïdes* ou amidonnier sauvage ;
 - *Triticum turgidum* ou blé poulard ;
 - *Triticum polonicum* ou blé de Pologne ;

- *Triticum durum* ou blé dur.
- c) **Le groupe hexaploïdes** ($2n = 42$) ou groupe de *Triticum spelta* (épeautre) ; on distingue :
- *Triticum vulgare* ou blé tendre ;
 - *Triticum compactum* ou blé hérisson.

Selon **Prevost (1976)**, les blés à 28 chromosomes sont des allotétraploïdes possédant les génomes A et B. **Prevost (1976)** et **Grignac (1978)** soulignent l'origine hybride des tétraploïdes dont le blé dur (*Triticum durum*), ceux-ci proviendraient du croisement naturel suivi du doublement des chromosomes entre *Triticum monococcum* (sauvage) apportant le génome A, et une herbe spontanée apparentée au blé nommée *Aegilops speltaoides* apportant le génome B puisqu'on les rencontre dans la même aire géographique (Figure 01). Une telle hybridation aurait donné naissance au *Triticum diccocoïdes* qui serait diversifié en *Triticum dicoccum* et *Triticum durum* (**Moule, 1980**). Les blés constituent le genre *Triticum*, qui comporte un certain nombre d'espèces cultivées (**Belaid, 1996**).

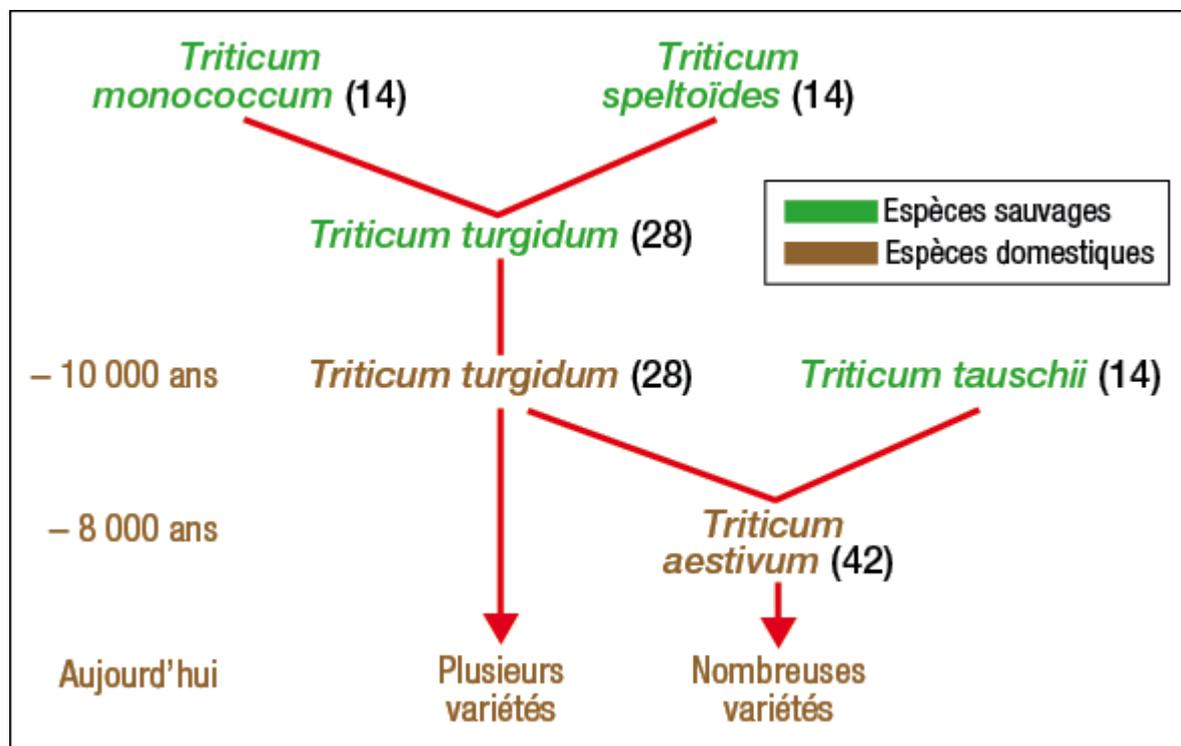


Figure 01 : Origine génétique possible du blé (<https://www.qcm-svt.fr/QCM/public-affichage.php?niveau=TS&id=247>).

En effet, la diversité des blés Algériens a été à l'origine, étudiée à partir des caractères morphologiques. D'autres paramètres tels que la taille, la forme de l'épi, la position des barbes ont été pris en considération afin de distinguer ainsi un grand nombre de populations (**Erroux, 1974**). Les blés cultivés en Algérie appartiennent pour la presque totalité aux

espèces *T. aestivum* L. (blé tendre) et *T. durum* Desf. (blé dur). A l'intérieur de chaque espèce on trouve de nombreuses variétés botaniques (**Laumont et Erroux, 1961**).

I.2. Situation économique et importance alimentaire du blé dur

En botanique, le blé dur est une des céréales les plus employées dans l'alimentation de l'homme et des animaux (**Cheftel et Cheftel, 1992**). Les grains de blé dur donnent de la semoule pendant la mouture, cette semoule est valorisée dans la fabrication des pâtes alimentaires (**Jeantet et al., 2007**). De plus en Afrique du Nord, on utilise aussi cette céréale pour la production de couscous et des pains traditionnels (la galette) (**Feillet, 2000**).

I.2.1. Dans le monde

Selon l'organisation pour l'alimentation et l'agriculture (**FAO, 2018**), la production mondiale de blé (dur et tendre) a atteint 758 millions de tonnes, ce qui représente 24.04 tonnes par seconde (compteur), le record historique de la production mondiale de blé. Pour 2019, la production devrait connaître une baisse sensible à cause de rendements moins importants que prévu dans l'Union Européenne (EU) et en Russie, pays dont le poids va grandissant sur le marché : en 2017-2018, la Russie a représenté 23.1% des exports mondiaux de blé, contre 13.3% en 2013-2014 (**FAO, 2018**). L'utilisation mondiale de blé pendant la campagne de commercialisation 2020/21 devrait stagner autour de 759.4 millions de tonnes, la hausse prévue de la consommation alimentaire faisant plus que compenser le recul attendu de l'utilisation dans les secteurs de l'alimentation animale et de l'industrie (en particulier dans l'Union européenne, aux États-Unis d'Amérique et au Canada), essentiellement en raison de la chute de la demande qui découlera sans doute des graves contractions de l'économie imputables à la pandémie de covid-19 (**FAO, 2020**).

Le marché du blé dur est un marché bien plus étroit que celui du blé tendre. Sur la campagne 2017/2018, les flux sont attendus en repli. Il est prévu un volume à l'export de 7.7 millions de tonnes (Mt), contre 8 Mt en 2016/17, 8.7 Mt en 2015/16 et 9.2 Mt au cours de la campagne 2014/2015. Le Canada devrait rester le premier exportateur mondial devant le Mexique et l'UE. On notera cependant que le niveau de consommation mondial est attendu au niveau de celui de la production 39 millions de tonnes, alors qu'il était en deçà sur les deux dernières campagnes. Ce qui peut laisser penser à un allègement des stocks à la fin de la prochaine campagne. Autre élément, l'écart de prix entre le blé dur et le blé tendre est inférieur à 47 euros/t alors qu'il était de 200 euros/t en juillet 2015 (**CIC, 2017**).

Selon le conseil international des céréales (CIC, 2017), la production mondiale de blé dur est en baisse, à 39 millions de tonnes (Mt) contre 40 Mt l’an 2016 (Figure 02). Une baisse justifiée par un recul des surfaces, -14% aux USA, -20% au Canada et -6% en Europe en 2017. Mais la production dans les pays du nord de l’Afrique est meilleure (CIC, 2017).

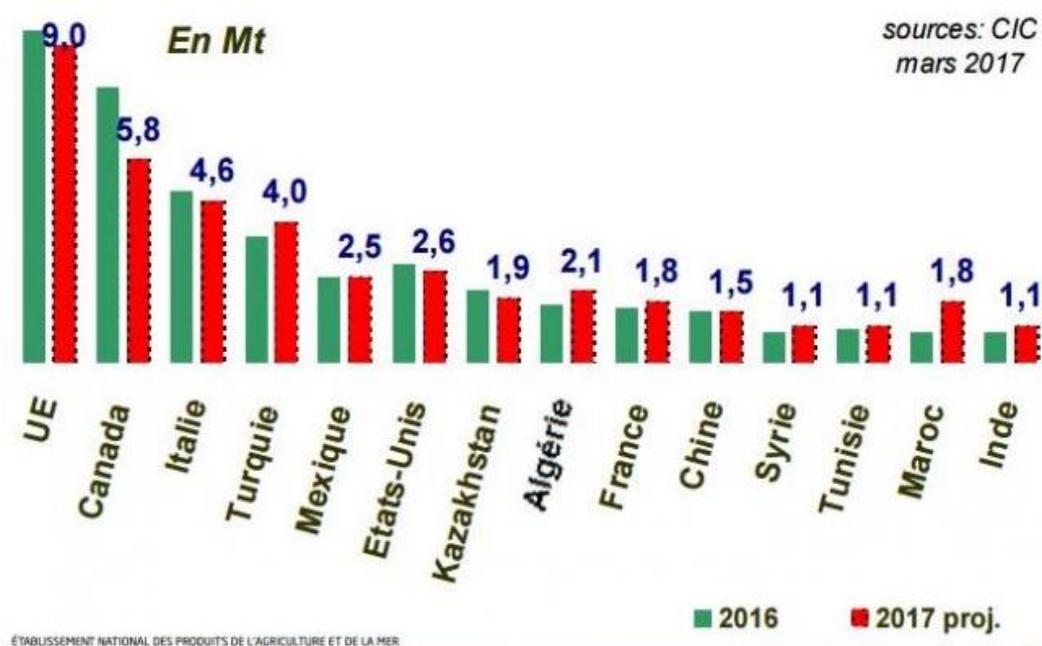


Figure 02 : Principaux producteurs mondiaux de blé dur en 2016 et 2017 (CIC, 2017).

Selon les prévisions du CIC, la production mondiale de blé dur 2018/2019 s’élève à 38 Mt, en hausse par rapport à 2017/18. Elle progresse notamment dans certains pays exportateurs comme le Canada et les États-Unis mais aussi chez les pays importateurs du Maghreb, notamment en Algérie. La production turque, en légère baisse en 2018/19, se maintient toutefois à un niveau élevé 3.6 Mt (CIC, 2019).

L’utilisation mondiale de blé dur n’a pas de variation globale par rapport à la campagne 2018/2019 à 33.8 Mt, l’alimentation humaine mondiale de la campagne 2019/2020 est projetée en hausse de 0.5 Mt en raison d’une progression de la demande de la part de la Syrie (+ 0.3 Mt), de la Turquie (+ 0.2 Mt) et de l’Algérie (+ 0.2 Mt) compensée en partie par un recul de 0.2 Mt du Maroc. Les besoins de l’alimentation animale dans le monde sont projetés à 1.5 Mt, soit une baisse de 0.4 Mt due à l’amélioration de la qualité de la récolte en Europe particulièrement, bien que compensée par une demande plus forte de la part du Canada et des États-Unis (mauvaise qualité des blés durs) (Anonyme, 2020).

I.2.2. En Algérie

La superficie moissonnée des céréales a été de plus de 2.35 millions d'hectares (ha) en 2017/18, soit 91% de la superficie déclarée à moissonner qui est de près de 2.58 millions ha, contre plus de 2.2 millions ha durant la campagne précédente. La moitié (50%) des superficies récoltées sont constituées du blé dur, soit plus de 1.17 million d'ha, et 32% des superficies récoltées sont constituées d'orge, soit 762331 ha (DSASI, 2019).

Le blé dur occupe une place centrale dans l'économie Algérienne. La production de blé dur en Algérie connaît une augmentation et une diminution selon les saisons. L'Algérie a connu une augmentation remarquable de la production de blé dur pendant la campagne 2017/18, qui est estimée à 2.1 Mt et pour la saison 2018/2019 elle est 3.2 Mt contrairement à la saison 2016/17 qui est 1.9 Mt (DSASI, 2019). Le ministère d'agriculture attribue ces faibles émissions enregistrées au "sévère stress hydrique" connu lors de cette campagne (période cruciale pour le grossissement du grain). L'augmentation de la production a entraîné une pénurie d'importations. Pendant les saisons 2017/18 et 2018/19, les importations sont estimées à 1.5 Mt (Tableau 04).

Tableau 01 : Bilan de blé dur en Algérie de 2010/11 à 2019/20 (CIC, 2020).

Jun/mai en millions de t	2010/11	2011/12	2012/13	2013/14	2014/15	2015/16	2016/17	2017/18	2018/19	2019/20*
Ressources										
Stocks départs	0,6	0,7	0,9	1,2	0,9	0,3	0,2	0,3	0,3	0,6
Production	2,2	2,5	3,0	2,5	1,3	2,2	1,9	2,1	3,2	3,2
Importations	1,3	1,8	1,6	1,5	1,7	1,7	1,9	1,5	1,5	1,1
Disponibilités totales	4,1	5,0	5,2	5,2	4,0	4,2	4,1	3,9	4,9	4,9
Utilisations										
Consommation humaine	3,3	3,8	4,0	4,0	3,5	3,8	3,7	3,5	4,3	4,1
Consommation industrielle	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Alimentation animale	-	0,1	T	0,1	0,1	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0
Semences	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2
Autres	T	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
Consommation totale	3,5	4,1	4,3	4,3	3,8	3,8	3,7	3,5	4,3	4,4
Exportations	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Stocks finaux	0,7	0,9	1,2	0,9	0,3	0,2	0,3	0,3	0,6	0,5

Selon les données du MADRP (2017), le rendement de blé dur de la campagne 2016/17 a été évalué à 16.9 Q/Ha, alors que celui de la campagne 2015/16 est estimé à 17.7 Q/Ha, soit une un taux d'accroissement relativement à 2016/17 de -6%.

I.3. Composition et structure du grain de blé

I.3.1. Histologie et structure

Aujourd'hui plus que jamais le fractionnement du grain de blé fait l'objet de nombreuses recherches. Afin d'améliorer les procédés de fractionnement et de mieux valoriser les différentes fractions issues du grain, il est nécessaire d'avoir une bonne

connaissance de sa structure. Le grain de blé est un caryopse, ce fruit sec indéhiscent est constitué d'une unique graine intimement soudée à l'enveloppe du fruit qui la contient. Sur l'épi le grain est entouré d'enveloppes : les glumes et les glumelles. Au niveau morphologique le grain de blé est ovoïde et présente sur la face ventrale un sillon qui s'étend sur toute sa longueur (Surget et Barron, 2005). Le grain de blé est constitué de trois grandes parties (Figure 03) :

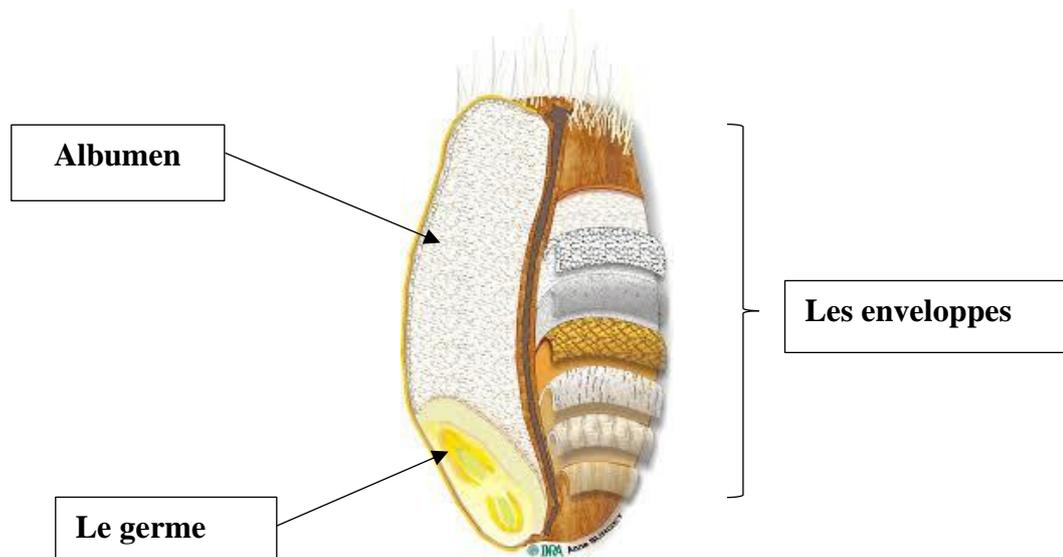


Figure 03 : Coupe longitudinale d'un grain de blé (adapté de Surget et Barron, 2005).

I.3.1.1. Les enveloppes : les enveloppes sont composées de cinq tissus différents : Le péricarpe externe, le péricarpe interne, formé par la couche de cellules tubulaires et la couche de cellules croisées, la testa ou tégument séminal et la bande hyaline ou épiderme du nucelle (Lesage, 2011).

I.3.1.2. Le germe : le germe provient de la fusion des gamètes mâles et femelles. C'est l'ébauche de la future plante, il est riche en protéines (ce sont des albumines et globulines) et en lipides et contient également des minéraux, des vitamines et des sucres solubles (Surget et Barron, 2005). Le germe se décompose en deux parties : l'axe embryonnaire dont la région supérieure est constituée de la gemmule ébauche de la future tige entourée de la coléoptile alors que la radicule recouverte du coléorhize se situe à l'opposé (Surget et Barron, 2005).

I.3.1.3. L'albumen : c'est une substance blanche friable constituée de grains d'amidon entourés par un réseau de gluten (Fredot, 2005). L'albumen constitue le plus important compartiment du grain et représente environ 80% de son poids (Pomeranz, 1988),

il correspond au tissu de réserve. L'albumen amylicé est essentiellement constitué des granules d'amidon enchâssés dans une matrice protéique composée en grande partie de prolamines (gliadines, gluténines de hauts et faibles poids moléculaires) mais aussi d'albumines et de globulines (**Debiton, 2010**).

I.3.2. Composition biochimique

La qualité du blé est influencée par chacun des constituants du grain qui joue un rôle seul ou en interaction avec d'autres constituants dans l'expression de la qualité (**Boudreau et Menard, 1992 ; Amir et al., 2004**).

I.3.2.1. L'eau : l'eau dans le blé représente 8 à 9 % avec une valeur moyenne de 14%. Les caractéristiques de siccité des blés permettent de faciliter les opérations de transport, de conservation et la possibilité de traitement par voie sèche. Du point de vue physique et chimique son action de solvant favorise les réactions enzymatiques et les attaques microbienne lorsque sa teneur dans le gain dépasse un certain seuil (**Djelti, 2014**).

I.3.2.2. Les glucides : les glucides sont présents sous la forme de sucre simple, mais surtout compose de l'amidon et substance énergétique par excellence facilement digestible, c'est le constituant majeur des céréales 60 à 65% du poids du blé (**Djelti, 2014**). L'amidon (amylum, fleur de la farine) est un glucide de réserve utilisé par les végétaux supérieurs pour stocker de l'énergie. Il est aussi appelé sucre lent ou complexe. Les granules d'amidon possèdent une cohésion radiale covalente correspondant à l'axe longitudinal des molécules constitutives et une cohésion tangentielle résultant de la formation de liaisons hydrogènes intermoléculaires qui contribuent à l'agrégation d'un grand nombre de chaînes et donc à la formation de zones cristallines (**Zahid, 2010**). Les granules d'amidon de blé sont en effet des entités semi-cristallines formées principalement de deux types de molécules, l'amylose (en général, 26 à 28%) et l'amylopectine (72 à 74%), jouent chacune un rôle déterminant dans la fonctionnalité finale de l'amidon naturel et des dérivés : viscosité, résistance au cisaillement, gélatinisation, solubilité, pouvoir adhésif, ...etc. (**Zahid, 2010**).

I.3.2.3. Les lipides : ce sont des biomolécules pratiquement insolubles dans l'eau, solubles dans les solvants apolaires tels que le chloroforme, le benzène ou l'éther, Ils sont localisés surtout dans le germe et les enveloppes, la matière grasse qu'ils renferment est de 12.5% dans le germe, 5.6% dans les enveloppes, et 0.8 à 1% dans l'albumen (**Djelti, 2014**). Les lipides sont des constituants mineurs du blé, ils représentent de 2 à 3% du grain sec. C'est pour cela que le germe est éliminé de la farine pour éviter le vieillissement qui sera

accéléralé à cause de l'évolution des lipides, les lipides des céréales sont riches en acides gras insaturés (Djelti, 2014).

I.3.2.4. Les vitamines : ce sont des composés chimiques très complexes, concentrés surtout dans le péricarpe et le germe à des teneurs très faibles. Ils sont parfois associés à des pigments (pigment caroténoïde). Ainsi, les grains de blé contiennent principalement trois vitamines, la vitamine B1, B2 et PP, les autres vitamines sont aussi présentes mais avec une faible teneur (Djelti, 2014).

I.3.2.5. Les enzymes : ce sont des protéines qui exercent une activité catalytique spécifique d'un très grand nombre de réactions chimiques. Les principaux facteurs du milieu qui contrôlent leur fonctionnement sont la température, le pH et l'activité de l'eau (Feillet, 2000). Les plus courantes sont :

- **Les protéases :** trouvées en quantité relativement faible, dont l'une d'elles coupe les chaînes polypeptidiques en leur milieu avec une production de molécules de masses encore élevée (Feillet, 2000) ;
- **Les amylases :** sont des hydrolases capables de dégrader spécifiquement les liaisons glucosidiques de l'amidon (amylase et amylopectine) qui vont être utilisées par les levures durant le processus de la fermentation panariaire (Feillet, 2000) ;
- **La lipase :** qui est une enzyme lipolytique trouve son activité concentrée dans la couche à aleurone et augmente au cours de la germination. Dans la farine elle croit avec le taux d'extraction puisqu'elle augmente la production d'acides gras insaturés lors de la mouture et la conservation (Feillet, 2000).

I.3.2.6. Les minéraux : ils sont présents dans le grain en faible quantité à raison de 2 à 3% de la matière fraîche du grain. Les principaux minéraux sont le potassium, le magnésium, le cuivre souvent associé à des sels (phosphate, chlorure ou sulfate) (Djelti, 2014).

I.3.2.7. Les protéines : ce sont des composés d'azote que l'on rencontre sous forme simple (acide aminé) et sous forme plus complexe (protéine). Les protéines ne sont pas réparties de façon uniforme dans le grain, un gradient naturel de distribution au sein du grain peut être mis en évidence. Ainsi, le rapport amidon/protéines augmente de façon significative des régions périphériques aux régions centrales du grain. La couche à aleurone est constituée de 30 à 35% des protéines. De même, le germe en comporte

35 à 40% alors que le péricarpe, tout comme le centre de l'albumen ne contiennent que 6 à 9% de protéines seulement, 70 à 80% des protéines se trouvent dans l'albumen (**Zahid, 2010**). Osborne, en 1907, a été le premier à s'intéresser à la classification des protéines du grain de blé. En 1924, il définit quatre groupes de protéines caractérisés par leur solubilité dans différents milieux (**Osborne, 1924**) :

- **Les Albumines** qui sont solubles dans l'eau ;
- **Les Globulines** qui sont solubles dans les tampons salins ;
- **Les Gliadines** qui sont solubles dans une solution d'alcool à 70% ;
- **Les Gluténines** qui sont solubles dans une base ou un acide ou des détergents en présence d'un réducteur. Ces fractions restent composées d'un mélange de plusieurs types de protéines (**Louisot, 1997**).

Cette classification a été revue par **Shewry *et al.* (1986)** qui ont proposé deux grandes catégories :

- **Les protéines métaboliques** : ce sont les protéines de structure et fonctionnement, les albumines et globulines. Elles représentent 15 à 20% des protéines présentes dans la farine de blé et sont solubles respectivement dans l'eau et les tampons salins. Ces protéines participent à la formation du grain et à l'accumulation des réserves dans l'albumen (**Shewry *et al.*, 1995**) ;
- **Les protéines de réserves** : elles font partie des prolamines et sont constituées par un mélange complexe de protéines (**Debiton, 2010**). Elles sont riches en proline et glutamine sont aussi appelées prolamines. La classification des prolamines fait appel à différents critères : composition en acides aminés, taille, association, qui permettent de séparer les prolamines en deux grands groupes:
 - **Les gliadines** : les gliadines monomériques et les gluténines polymériques (association de monomères par des ponts disulfures) (**Zahid, 2010**) ;
 - **Les gluténines** : elles forment deux sous-groupes, les sous unités de faible poids moléculaires (SG-FPM) représentent environ les deux tiers de l'ensemble des gluténines 40%, l'autre tiers est constitué par les sous unités de gluténines de haut poids moléculaire (SG-HPM) 20% (**Louisot, 1997**).

I.4. Les principaux débouchés du blé dur

I.4.1. Les semoules

La semoule est définie comme étant le produit obtenu à partir des grains de blé dur par un procédé de mouture au cours duquel le son et le germe sont essentiellement éliminés et le reste est broyé à un degré de finesse adéquat (AFNOR, 1991). Ces semoules sont valorisées généralement dans la fabrication des pâtes alimentaires et des couscous (Jeantet *et al.*, 2007). On distingue :

I.4.1.1. Semoules grosses (SG) : la dimension des particules est comprise entre 900 à 1100 μ m, destinées aux usages domestiques.

I.4.1.2. Semoules grosses moyennes (SGM) : comprise entre 550 à 900 μ m, destinées à la fabrication de la galette, du couscous.

I.4.1.3. Semoules sassées super extra (SSSE) : de 190 à 550 μ m, destinées à la fabrication des pâtes alimentaires.

I.4.1.4. Semoules sassées super fines (SSSF) : de 140 à 190 μ m, ces semoules proviennent des couches périphériques du grain (Madani, 2009).

I.4.2. Les pâtes alimentaires

En Algérie, la consommation de pâtes alimentaires est de l'ordre de 3 kg par an, cette quantité est relativement faible en comparaison à celle de la Tunisie (15.26 kg) (Kellou, 2008). Les principales variétés produites par l'industrie sont : les pâtes pleines préparées par extrusion (vermicelles, spaghetti, nouilles, tagliatelles), les pâtes creuses extrudées (coudes, coquille, coquillettes) et les pâtes roulées ou découpées (langue d'oiseau, lettres, caractères, etc.).

I.4.3. Le couscous

Le couscous est un produit alimentaire très ancien, inventé il y a environ 3000 ans par les Berbères en Afrique du Nord (Abecassis *et al.*, 2012). Selon la norme AFNOR (1991), le couscous est un aliment constitué exclusivement de semoule de blé dur et présentant les caractéristiques spécifiques du blé dur agglomérées auxquelles est ajoutée, pour les agglomérer, de l'eau potable, éventuellement salée (chlorure de sodium) et soumis à des traitements physiques tels que l'agglomération, la cuisson, le séchage et le calibrage.

I.4.4. Le fric

Selon **Bayram (2008)**, le nom de frekeh (ou Firik ou Frik) est donné aux grains verts non mûrés de blé dur, grillés, broyés et tamisés. Le Frik est un ancien produit traditionnel de blé entier produit à partir de blé récolté tôt au stade laiteux, à ce stade le blé est encore vert. Quand on le presse entre les doigts, il en sort un liquide blanc (**Laraba, 1989**).

I.5. Sélection pour la qualité technologique du blé dur

Le comportement agronomique (résistance à la verse, précocité, résistance au froid...), la production en grain (rendement), la résistance aux pathogènes (rouilles, fusariose, virus...) et la qualité physique et technologique (teneur en protéines, mitadin, moucheture, poids spécifique, couleur...) figurent parmi les principaux caractères auxquels le sélectionneur s'intéresse dans un programme d'amélioration génétique de blé (**Salmi et al., 2015**).

Le blé dur est entièrement utilisé pour l'alimentation humaine donc la qualité des variétés doit être optimale. Pour cela il étudie un grand nombre de plantes et croise les plus intéressantes entre elles. Intervient ensuite tout un processus de sélection où les plantes sont testées dans différents environnements et un grand nombre de caractères sont étudiés. Le processus de création d'une nouvelle variété commence par la production d'hybrides F1 par croisement de deux parents ou plus. Les sélectionneurs doivent veiller à ce que tous les parents servant au croisement possèdent collectivement la majorité des caractères recherchés pour la nouvelle variété (**Bouzerzour, 1998**). La sélection des plants possédant les caractères recherchés commence en F2 qui affiche une plus grande variabilité génétique. Elle se poursuit jusqu'en F7-F8, lorsque la descendance devient uniforme. Cette sélection précoce se fait sur la base des caractères dont l'expression dépendra peu des conditions du milieu, telles que la hauteur, la précocité, la sensibilité aux maladies (**Fellahi, 2017 ; Hannachi, 2017 ; Salmi, 2019**). La sélection pour des caractères complexes, comme le rendement et la qualité du grain, s'effectue plus tardivement sur un matériel plus génétiquement homogène, en utilisant des dispositifs plus rigoureux pour maîtriser la variation environnementale (**Fellahi et al., 2020**). Il faut en général 8 à 10 ans pour créer une nouvelle variété et qu'elle soit disponible pour les agriculteurs.

En ce qui concerne la qualité alimentaire, pour les pâtes et la semoule, l'attente première des consommateurs est l'indice de jaune, la teneur en protéines, la teneur en gluten et la qualité du gluten déterminent la bonne tenue à la cuisson et à la surcuisson. Le rendement semoulier est évidemment très important. Par exemple, la couleur jaune ambre est

préférée en raison de la concurrence mondiale croissante sur le marché des pâtes, de sorte que la couleur est devenue une caractéristique plus importante dans les programmes de sélection du blé dur (**Troccoli et al., 2000**). Savoir transférer les attributs à améliorer permet de choisir la méthode la plus appropriée pour atteindre l'objectif. Par exemple, la force du pain est un trait avec un héritage polygénique. L'obtention des génotypes homozygotes régissant la puissance du pain nécessite souvent six à huit générations d'autofécondation. A partir d'un croisement entre deux ou plusieurs parents, la sélection généalogique ou pedigree permet de retenir les individus issus de plantes, des lignées ou des familles qui, au cours des descendance successives, satisfont aux divers tests de sélection. Cette méthode n'est pas particulièrement adaptée à la sélection pour la qualité boulangère. Elle peut cependant donner de bons résultats si les tests classiques d'appréciation de la qualité ne sont pas employés trop tôt et si les tris dans les générations F3 ou F4 ne sont pas trop sévères (**Vespa, 1984**). En utilisant une sélection en bulk, les plantes issues d'un tel croisement ne font pas ou peu l'objet d'une pression de sélection au cours des premières années d'autofécondation (**Zahour, 1992**). Après quatre ou cinq années d'autofécondation, la sélection réalise un tri plus sévère puisque, à ce stade, de nombreuses plantes sont homozygotes pour plusieurs caractères. Cette seconde phase est souvent réalisée selon la méthode généalogique. La sélection bulk, qui n'exige pas un suivi important dans les premières générations, offre l'avantage de fournir des lignées qui ont atteint un taux d'homozygotie suffisant pour procéder à une évaluation satisfaisante des caractères polygéniques. C'est une méthode qui, de ce fait, est mieux adaptée à la sélection pour la valeur boulangère à condition toutefois de disposer des moyens nécessaires pour procéder à l'analyse technologique d'un nombre important de lignées en F5 ou F6 (**Bure, 1980**).

CHAPITRE II

MATERIEL et METHODES

II. Chapitre 2 : Matériel et méthodes

II.1. Matériel végétal

Le matériel végétal est constitué de 10 lignées avancées de blé dur et de deux variétés utilisées comme des témoins à savoir GTA dur et Bousselam. Le croisement/pédigrée et l'origine de l'ensemble de ces génotypes est illustré dans le tableau 02. Ce matériel végétal fait partie du programme d'amélioration de blé dur de l'INRAA-Sétif qui vise à créer des variétés performantes en termes de productivité, stabilité, adaptation, tolérance aux maladies et de bonne qualité technologique. Il a été évalué en essais de rendement au cours de la campagne agricole 2018/2019, la semence récoltée a fait l'objet de cette étude qui vise à apprécier la qualité technologique des nouvelles sélections relativement aux témoins suscités. Les expériences relatives à la qualité technologique ont été réalisées aux moulins de Gerbior groupe Ben Hamadi situés à la Route Nationale N°05, Lachbour El Achir Bordj Bou Arreridj.

Tableau 02 : Liste, pédigrée et origine des génotypes de blé dur évalués.

Génotype	Pedigree	Origine
GTA dur	Gaviota/durum	CIMMYT (Mexique)
Bousselam	Heider/Marli/Heider-Cro ICD-414-1BLCTR-4AP	ICARDA (Syrie)
L1	Waha//ZB/Fg	INRAA-Sétif (Algérie)
L2	Waha/Mexicali ₇₅	INRAA-Sétif (Algérie)
L3	Waha/Mexicali ₇₅	INRAA-Sétif (Algérie)
L4	Waha/Mexicali ₇₅	INRAA-Sétif (Algérie)
L5	Waha/Mexicali ₇₅	INRAA-Sétif (Algérie)
L6	Mex ₇₅ /Ofanto	INRAA-Sétif (Algérie)
L7	Mex ₇₅ /Ofanto	INRAA-Sétif (Algérie)
L8	Mex ₇₅ /Ofanto	INRAA-Sétif (Algérie)
L9	Mex ₇₅ /Gta dur	INRAA-Sétif (Algérie)
L10	Gta dur/Guemgoum Rkhem	INRAA-Sétif (Algérie)

II.2. Analyses effectuées sur le grain

Les impuretés et graines contaminants qui nuisent à la qualité des semoules (graines étrangères, graines d'autres céréales, pailles, pièces métalliques, déchets, grains échaudés, grains mouchetés et fusariés) ont été, dans un premier temps, éliminées à la main ou bien d'un moyen des tamis selon la norme de l'AFNOR (NF ISO 11050, V03-718), puis les caractéristiques suivantes ont été déterminées :

II.2.1. Poids de mille grains

Le poids de mille grains (PMG, g) a été déterminé selon la norme algérienne (NF ISO

11050, V03-718). Le principe de la détermination de la masse de 1000 grains est de peser d'une quantité de l'échantillon, séparation des grains entiers et peser le reste ensuite suivi du comptage des grains entiers. La masse en gramme des 1000 grains (M_h ou PMG) sur la matière telle quelle est donnée par la formule suivante :

$$M_h = M_0 \times 1000 / N$$

Où : M_0 = masse en gramme des grains entiers sélectionnés de la quantité prélevée,

N = le nombre des grains entiers contenus dans la masse M_0 .

II.2.1. Poids spécifique

Le poids spécifique (PS, kg/hl) ou masse à l'hectolitre a été déterminé selon la norme algérienne (NA1613, 1990), par l'écoulement libre d'un échantillon au moyen d'une trémie dans un récipient de 0.25 litre de pesée en utilisant le Nilema litre (Photo 01) ; le poids mesuré en gramme pour ce volume est ensuite rapporté en kg/hl.

$$PS = ((\text{masse cylindre mesureur rempli} - \text{masse cylindre vide}) \times 4) \times 0.1$$



Photo 01 : Le Nilema-litre utilisé pour mesurer le poids spécifique.

II.2.3. Taux de mitadinage et le taux de vitrosité

Le taux de mitadinage (Mita, %), indique le nombre de grains partiellement ou entièrement farineux dans un lot de grains. Sa détermination est faite selon la norme algérienne (NA-1183/1998). Elle consiste à peser 100g des grains et étaler la prise d'essai sur une surface plane, puis examiner à l'œil nu chaque grain individuellement après élimination des impuretés en comptant les grains mitadinés après les avoir coupés transversalement à l'aide de scalpel, finalement peser tous les grains entiers mitadinés.

$$N = (m_1 \times 100) / m$$

Où : N = pourcentage de grains mitadinés dans la fraction examinée, m_1 = masse de grains mitadinés dans la fraction examinée, m = la masse de grains examinés.

Pour le taux de vitrosité, la même méthode de mitadinage est adoptée.

II.2.4. Humidité

L'humidité du grain est la perte de masse, subie par le produit dans les conditions spécifiées dans la méthode de référence pratique (NA1132, 1990- ISO 712), qui nécessite un broyage éventuel d'un échantillon de blé dur dans un broyeur, et un séchage d'une prise d'essai de 5g à une température entre 130 °C et 133 °C dans une étuve multi-cellulaire. La teneur en humidité est exprimée en pourcentage (H, %) en masse du produit telle qu'il est donné par la formule suivante :

$$H (\%) = 100[(m_1 - m_2)/(m_1 - m_0)]$$

Où : m_0 = masse de la nacelle métallique vide, m_1 = masse de la nacelle métallique et de la prise d'essai avant séchage, m_2 = masse de la nacelle métallique et de la prise d'essai après séchage.

II.2.5. Taux de cendres

Le taux de cendre a été obtenu selon la méthode décrite par la norme algérienne (NA7333/1990-ISO2171), par incinération uniforme du produit (mouture ou semoule) d'une prise d'essai dans un four à moufle à une température de 900C° (plus ou moins 25 °C). Il faut d'ajouter à la prise d'essai quelques gouttes d'éthanol pour assurer les enflames (pré-incinération), on attend jusqu'à la combustion complète de la matière organique de produit qui dure au minimum 4 heures, puis pesée du résidu obtenu. Le taux de cendres (TC, %) exprimé en pourcentage en masse du produit est donné par la formule suivante :

$$TC (\%) = 100 (PTi - PV / \text{prise d'essai})$$

Où : PTi = poids total (creusée + prise d'essai) incinéré, PV = poids vide.

II.2.6. Taux de protéines, de gluten humide et dureté de grain

Ces paramètres ont été déterminés à l'aide de l'utilisation de l'Inframatic IM 9500 de type Perten (www.perten.fr) (Photo 02) qui donne directement les valeurs de l'échantillon analysé en moins de 30 secondes. Le principe de l'Inframatic IM 9500 utilise la technologie proche infrarouge par transmission pour analyser les échantillons, mais innove avec plusieurs éléments clés.



Photo 02 : L'Infomatic IM 9500 utilisé dans cette étude.

II.3. Analyses effectuées sur la semoule

La préparation de la semoule dans cette étude a été réalisée selon la méthode traditionnelle, suivant trois étapes : nettoyage (élimination des impuretés, broyage (dissociation progressive de l'albumen et des parties périphériques des grains de blé dur par écrasement et cisaillement des produits entre des cylindres cannelés de broyeur) et tamisage à 250 μm avec enlèvement le plus possible des fragments de son. Après avoir obtenu la semoule fine, chaque échantillon a été analysé dans l'Infomatic IM 9500 (Photo 02). Les résultats obtenus concernent les variables suivantes : humidité de la semoule (%), taux de protéines (%), de gluten humide (%) et de cendres (%), indice de brune (%), capacité d'absorption de l'eau de gluten et la force boulangère (W).

II.4. Analyse des données

Les données collectées sont soumises à une analyse de la variance à un facteur étudié. La comparaison des moyennes est réalisée à l'aide du test de la plus petite différence significative au seuil de 5% ($P_{pds5\%}$). Des corrélations phénotypiques ont été calculées entre les différents variables mesurées. Les analyses statistiques ont été réalisées avec le logiciel CoStat 6.4 (CoHort Software, Monterey, CA, USA) et le programme Excel.

CHAPITRE III

RESULTATS et DISCUSSION

III. Chapitre 3 : Résultats et discussion

III.1. Analyses effectuées sur le grain

III.1.1. Analyse de la variance

L'analyse de la variance montre un effet génotype hautement ($p < 0.01$) à très hautement significative ($p < 0.001$) pour l'ensemble des variables mesurées à l'exception du rendement qui exhibe un effet non significatif (Tableau 03). Ces résultats indiquent la présence d'une variabilité assez importante entre les génotypes étudiés pour les caractères qui déterminent la qualité technologique du produit fini. L'absence de signification de l'effet « génotype » pour le rendement en grains (données interne de l'INRAA-Sétif de la campagne 2018/19) reflètent le rapprochement des valeurs prises par cette variables pour tous les génotypes étudiés dont les témoins et les lignées avancées. Ceci pourra être expliqué par la pression de sélection vers une meilleure productivité appliquée sur la population de base (450 lignées de départ) dont les lignées les moins performantes sont dans chaque étape/année du processus de sélection. Celles les plus productives sont celles restantes parmi les 450 lignées de départ.

Les valeurs prises par le coefficient de variation sont faibles variant de 0.36 pour le poids spécifique à 14.43 pour le rendement en grains (Tableau 03). Théoriquement plus les valeurs de ce paramètre sont élevées moins l'expérience est fiable. Les résultats de cette étude suggèrent très peu d'erreurs et une bonne précision de la manipulation des tests conduits.

Tableau 03 : Carrés moyens de l'analyse de la variance des variables mesurées sur le grain.

SV	Répétition	Génotype	Erreur	CV (%)
ddl	2	11	22	
PMG	1.987	5.766**	1.440	3.07
PS	0.018	40.475***	0.087	0.36
Dur	1.750	24.795***	1.386	1.77
Vitro	0.91	71.37***	0.91	1.02
Mita	0.01	42.17***	0.03	4.40
H	0.912	0.496***	0.029	1.95
TP	0.003	1.430***	0.005	0.53
TG	0.019	7.912***	0.028	0.62
TC	0.002	0.039***	0.002	3.04
RDT	195.197	15.103 ^{ns}	33.286	14.43

PMG : Poids de 1000 grains, PS : Poids spécifique, Dur : Dureté du grain, Vitro : Vitrosité du grain, Mita : Taux de mitadinage, HG : Humidité du grain, TP : Taux protéines, TG : Taux de gluten humide, TC : Taux de cendres, RDT : Rendement en grains, CV : Coefficient de variation, ns, ** et *** : Différence non significative, hautement et très hautement significative au seuil de 1 % et 0.1%, respectivement.

III.1.2. Etude des valeurs moyennes

Les valeurs moyennes, minimales, maximales des variables mesurées sur le grain sont données au tableau 04.

Tableau 04 : Valeurs moyennes, minimales, maximales et écart-types des variables mesurées sur le grain.

Variable	Minimum	Maximum	Moyenne	Ecart-type	Ppds (5%)
PMG	36.99	41.19	39.12	1.39	2.03
PS	73.50	84.13	81.72	3.67	0.50
Dur	60.67	71.67	66.58	2.87	1.99
Vitro	85.51	98.89	93.66	4.88	1.61
Mita	0.42	12.95	3.60	3.75	0.27
H	7.55	9.09	8.68	0.41	0.29
TP	12.47	14.23	13.48	0.69	0.12
TG	24.43	28.50	26.80	1.62	0.28
TC	1.30	1.66	1.42	0.11	0.07
RDT	36.70	43.50	39.98	2.24	9.77

PMG : Poids de 1000 grains, PS : Poids spécifique, Dur : Dureté du grain, Vitro : Vitrosité du grain, Mita : Taux de mitadinage, HG : Humidité du grain, TP : Taux protéines, TG : Taux de gluten humide, TC : Taux de cendres, RDT : Rendement en grains.

III.1.2.1. Poids de mille grains

L'analyse du tableau 04 indique que les valeurs prises par la variable poids de mille grains varient de 36.99 g, valeur minimale prise par la lignée L4 à 41.19 g, valeur maximale prise par la lignée L1 au tour d'une moyenne de 39.12 g et une plus petite différence significative de 2.03 g (Tableau 04, Figure 04). A l'exception de L4 et L8, toutes les autres lignées présentent un PMG supérieur à celui du meilleur témoin Bousselam au sens désiré de la sélection (Figure 04).

Quoiqu'il est sous contrôle génique additif (**Hannachi et al., 2013 ; Mohamed et al., 2013**), le poids de mille grains est généralement peu maîtrisable, car il est fortement lié aux effets de l'environnement au moment de la formation et du remplissage du grain. Un manque d'eau après la floraison combinée aux températures élevées (conditions fréquentes en Algérie) entraîne une diminution du poids de 1000 grains par altération de la vitesse et/ou de la durée de remplissage, ce qui se traduit par l'échaudage des grains (**Zouaoui, 1993 ; Chaker, 2003**).

III.1.2.2. Poids spécifique

Le poids spécifique est largement reconnu comme facteur de classement de première importance, il demeure utile comme indice de potentiel semoulier (**Dexter et Edwards.,**

1998). Dans cette étude, ce poids varie de 73.50 kg/hl valeur minimale obtenue chez le témoin GTA dur à 84.13 kg/hl valeur maximale mesurée chez la lignée L10 (Tableau 04, Figure 05).

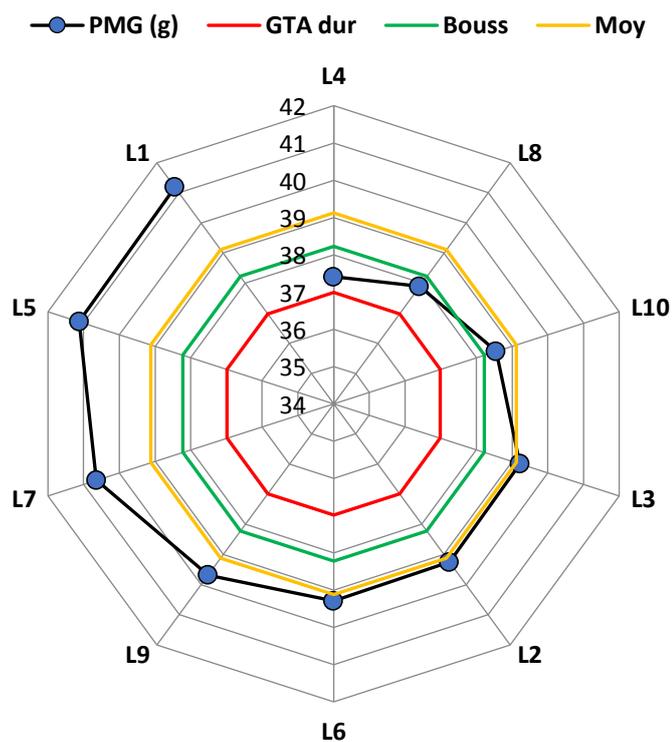


Figure 04 : Valeurs moyennes du poids de mille grains des lignées et des témoins de blé dur.

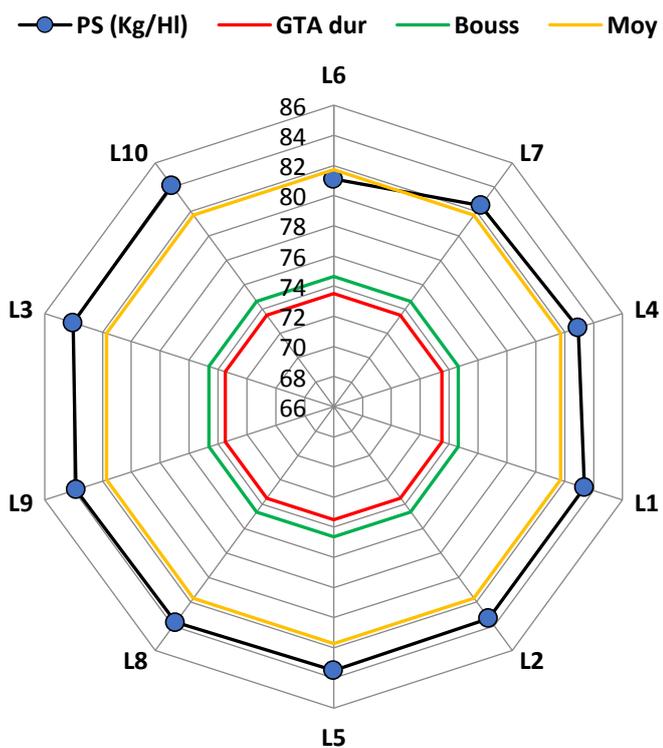


Figure 05 : Valeurs moyennes du poids spécifique des grains des lignées et des témoins de blé dur.

La moyenne générale de l'essai est de 81.72 kg/hl et la plus petite différence significative est de 0.50 kg/hl. Toutes les lignées dépassent significativement les moyennes des deux témoins GTA dur et Bousselam (Figure 05) dans le sens positif et désiré de la sélection. D'après les textes réglementaires, le blé dur est considéré non commercialisable s'il a un PS inférieur à 76.5 kg/hl. Donc ces géotypes pourraient donner un rendement meunier supérieur (Godon et Loisel, 1984).

III.1.2.3. Dureté de grain

La lignée L9 montre la dureté moyenne la plus faible (60.67%) alors que la valeur la plus élevée est enregistrée chez le témoin Bousselam (71.67%) (Tableau 04, Figure 06). La valeur moyenne estimée pour cette variable est de 66.58% avec une plus petite différence significative de 1.99%. Toutes les lignées affichent des valeurs inférieures à celle de Bousselam et trois lignées L2, L8 et L9 présentent des moyennes inférieures aux deux témoins (Figure 06).

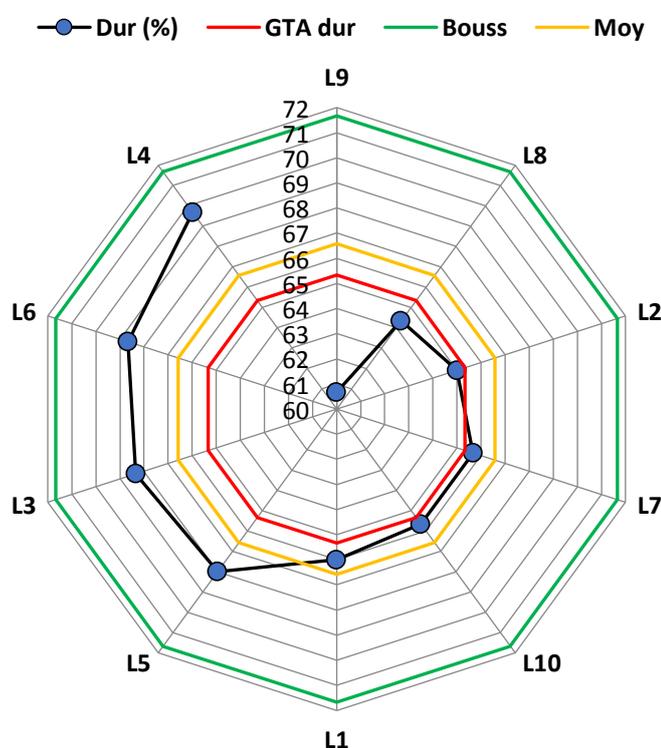


Figure 06 : Valeurs moyennes de la dureté du grain des lignées et des témoins de blé dur.

III.1.2.4. Vitrosité du grain

La vitrosité est un autre type de paramètre permettant de décrire la texture du grain. Elle est évaluée par une mesure visuelle qui permet de distinguer les grains dits « vitreux » car ayant un aspect translucide, des grains dits « farineux » ayant un aspect opaque. La vitrosité

du grain des génotypes évalués varie de 85.51%, valeur minimale obtenue chez le témoin GTA dur à 98.89%, valeur maximale mesurée chez la lignée L1 (Tableau 04, Figure 07). La moyenne générale des génotypes est de 93.66% et la plus petite différence significative est de 1.61% (Tableau 04). La figure 07 montre qu'à l'exception de la lignée L9, toutes les autres lignées présentent une vitrosité meilleure aux deux témoins.

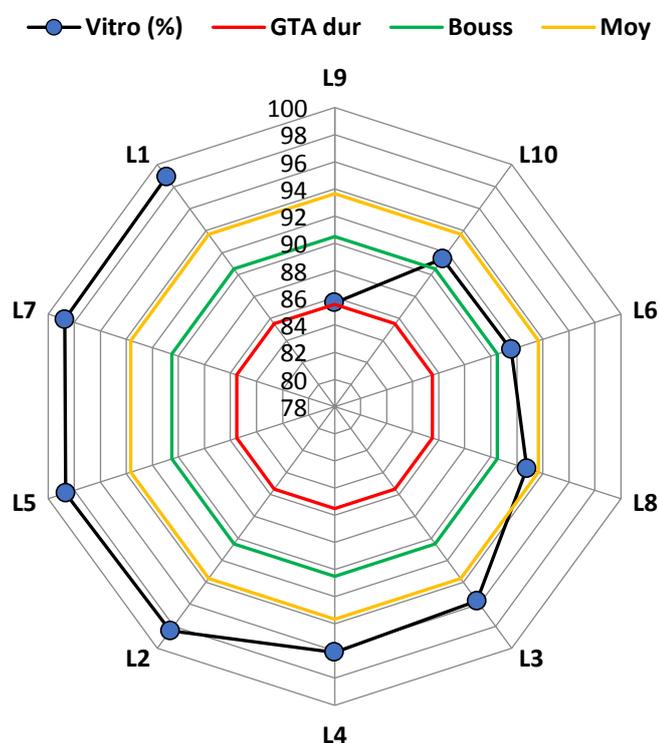


Figure 07 : Valeurs moyennes de la vitrosité du grain des lignées et des témoins de blé dur.

Plusieurs travaux indiquent que la vitrosité est liée à la structure de l'albumen amylicé, les vitreux présentent une structure très compacte alors que les farineux présentent de nombreuses vacuoles d'air (Dexter *et al.*, 1989 ; Sadowska *et al.*, 1999). Les travaux de Blanco, A. et De Giovanni, C (1993) ont montré que les grains farineux ont de faibles densités par rapport aux grains vitreux, et ont attribué les faibles densités et la farinosité à une forte porosité de l'albumen. Les grains vitreux nécessitent une force supérieure pour être cassés (Dobraszczyk, 1994 ; Haddad *et al.*, 1998 ; Haddad *et al.*, 2001) et présentent une structure plus dense donc moins poreuse que celle des blés farineux (Glenn et Saunders, 1990). Ainsi, la vitrosité participe aux propriétés mécaniques du grain et pourrait influencer sur le comportement en mouture (Greffeuille *et al.*, 2006).

III.1.2.5. Taux de mitadinage

Le mitadinage est un accident physiologique fréquent qui se traduit par un changement de texture de l'albumen du grain. Les grains de blé mitadinés présentent des zones farineuses

et opaques dans un ensemble vitreux alors que les grains normaux apparaissent totalement vitreux et translucides. Dans ce travail, les valeurs du taux de mitadinage des blés étudiés varient entre 0.42% et 12.36% pour une moyenne générale de 3.60% et une plus petite différence significative égale à 0.277% (Tableau 04). D'après **Mahaut (1996)**, les blés de qualité ont un taux de mitadinage de 0 à 20%. Six lignées expriment un taux de mitadinage significativement inférieur au meilleur témoin GTA dur dans le sens voulu de la sélection, ces lignées sont L5, L7, L1, L3, L2 et L4 (Figure 08). Les quatre lignées restantes, quoiqu'elles présentent un taux supérieur aux deux témoins, elles restent de qualité d'après la classification de **Mahaut (1996)**.

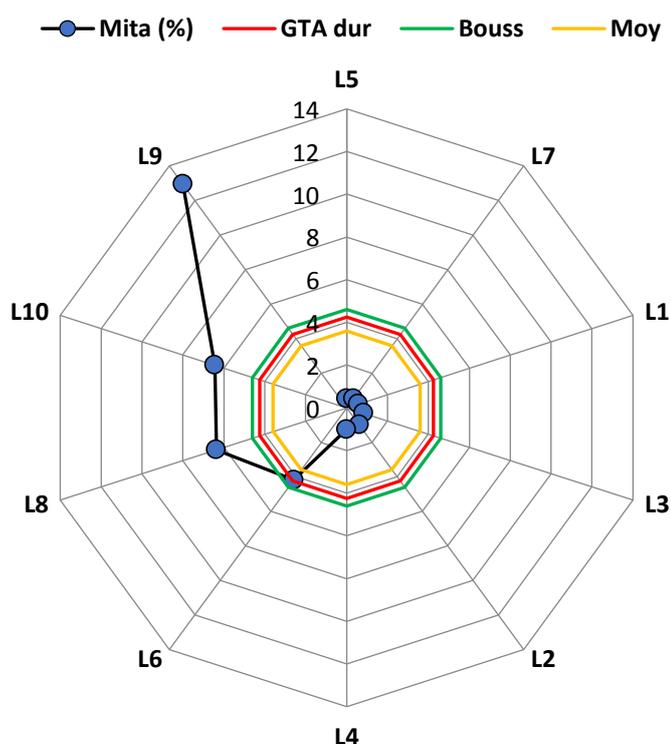


Figure 08 : Valeurs moyennes du taux de mitadinage des lignées et des témoins de blé dur.

Le phénomène du mitadinage des grains du blé dur a été trouvé directement lié à la fertilisation azotée, en présence d'une carence en azote et dans le cas d'un sol très riche en potassium. Cela peut être expliqué, d'une part, par le rôle de ces éléments nutritifs dans la structure et la physiologie du blé dur, l'azote qui exerce une action essentielle sur la nutrition carbonée et qui entre dans la composition des nucléoprotéines des noyaux des cellules et le Potassium, qui accroît l'élaboration des glucides et favorise l'accumulation de l'amidon dans le grain (**Clement et Prats, 1971**). D'autre part, les conditions climatiques d'expérimentation influent de leur part sur cette caractéristique (**Nassif et al., 2012**).

III.1.2.6. Humidité du grain

La détermination de la teneur en eau est importante, puisqu'elle conditionne d'une part la précision des divers résultats analytique rapportés à la matière sèche et d'autre part celle de mise en œuvre des tests technologique, tel l'essai à l'alvéographe. Les teneurs en eau des grains des génotypes de blé dur testés varient de 7.55%, moyenne minimale observée chez la lignée L8 et 9.09%, moyenne maximale exhibée par la lignée L6 (Tableau 04, Figure 09). L'humidité moyenne de l'essai est de 8.68% avec une ppds de 0.29%. Toutes les lignées avancées de blé dur présentent des valeurs moyenne supérieures aux deux témoins (Figure 09), toutefois, même si l'analyse de la variance a montré des différences significatives entre les génotypes testés, les valeurs moyennes restent conformes aux normes recommandant une teneur en eau des grains blés n'excédant pas 14.5 % (Feillet, 2000).

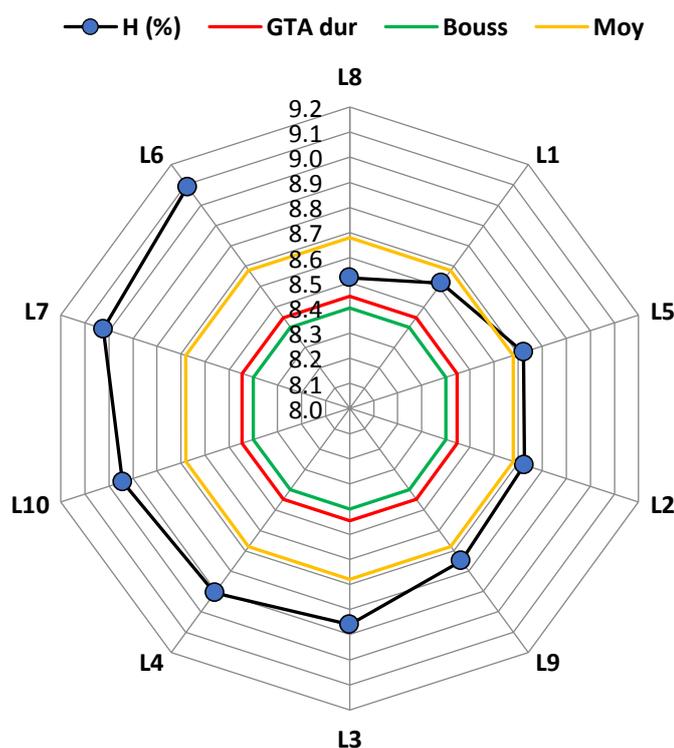


Figure 09 : Valeurs moyennes de l'humidité du grain des lignées et des témoins de blé dur.

III.1.2.7. Teneur en protéines

Les valeurs moyennes de la teneur en protéines varient de 12.47 à 14.23%, au tour d'une moyenne de 13.48% et une plus petite différence significative de 0.12% (Tableau 04). Les lignées L1, L6, L2, L5 et L7 significativement dépassent, par leurs teneurs en protéines du grain, la moyenne du meilleur témoin GTA dur (Figure 10). Les lignées L8, L3 et L4 enregistrent des valeurs comprises entre celles des deux témoins alors que les deux lignées restantes L10 et L9 explorent des teneurs significativement similaires à Bousselam (Figure

10). **Quaglia (1988)** recommande un blé dur ayant une teneur en protéines supérieure à 13 % pour la production de bonnes pâtes. Une teneur inférieure à 11 % donne des pâtes de mauvaise qualité.

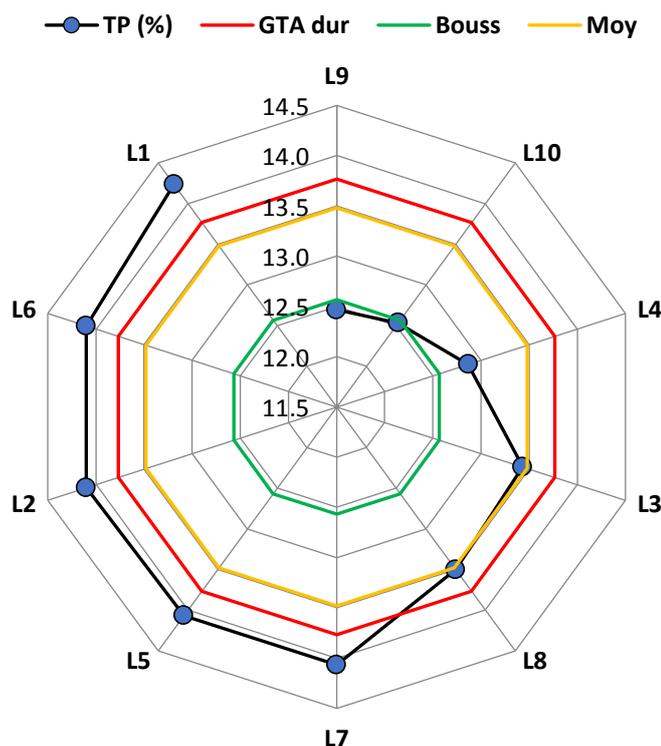


Figure 10 : Valeurs moyennes de la teneur en protéines du grain des lignées et des témoins de blé dur.

III.1.2.8. Teneur en gluten humide

Le gluten joue un rôle multiple grâce à ses propriétés rhéologiques de la pâte, un complexe viscoélastique qui rassemble les protéines intervenant dans le processus de panification (**Kleijer, 2002**). La valeur moyenne minimale de ce paramètre est de 24.43% trouvée chez la lignée L9 alors que la maximale est de 28.50% observée chez la lignée L1 (Tableau 04, Figure 11). La moyenne générale de ce paramètre est 26.80 % avec une ppds de 0.28% (Tableau 04). Cinq lignées (L1, L2, L5, L6 et L7) exhibent des moyennes significativement supérieures à celle du meilleur témoin GTA dur dans le sens de l'augmentation de cette variable (Figure 11). Trois lignées (L8, L3 et L4) sont intermédiaires (valeurs comprises entre celles de GTA dur et Bousselam) et deux lignées (L10 et L9) sont statistiquement similaires à Bousselam (Figure 11). Perten (1989) considère que l'élasticité de la pâte est due aux gliadines et que sa ténacité dépend plutôt des gluténines. En effet, les protéines du gluten, grâce à leurs structures spiralées et élastiques, apportent aux produits de boulangerie du moelleux et une excellente cuisson.

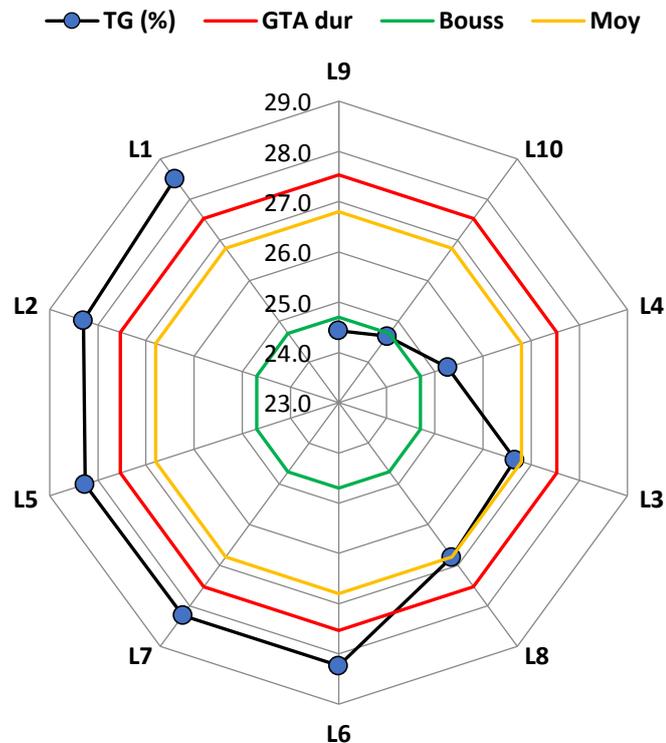


Figure 11 : Valeurs moyennes du taux de gluten humide du grain des lignées et des témoins de blé dur.

III.1.2.9. Teneur en cendres

Les cendres sont le résidu minéral incombustible obtenu après incinération. Les cendres se composent par des éléments métalliques présents dans le grain ou la semoule sous forme de sels et qui ne sont pas volatilisés lors de l'incinération aussi des résidus minéraux incombustibles provenant de la décomposition de la matière organique (**Godon et Loisel, 1997**). Selon **Taha et Sagi (1987)**, la teneur en cendres a un intérêt essentiellement réglementaire, elle permet de classer les farines et les semoules. Dans ce travail, les moyennes cette caractéristique rangent de 1.30% pour la lignée L4 à 1.66% pour le témoin GTA dur (Tableaux 04, Figure 12). La moyenne générale de cette variable est de 1.42% et la ppds vaut 0.07 (Tableau 04). La figure 12 montre que toutes les lignées présentent des valeurs inférieures aux deux témoins. Même si les résultats de l'ANOVA reflètent des différences significatives pour cette caractéristique, tous les génotypes (lignées avancées et témoins) présentent des moyennes inférieures à 2%, valeur maximale des normes préconisées par **Godon (1991)**. La teneur des grains en matières minérales sont relativement fixes quelques que soient les conditions externes dans lesquelles le blé dur a été cultivé (**Godon, 1998**).

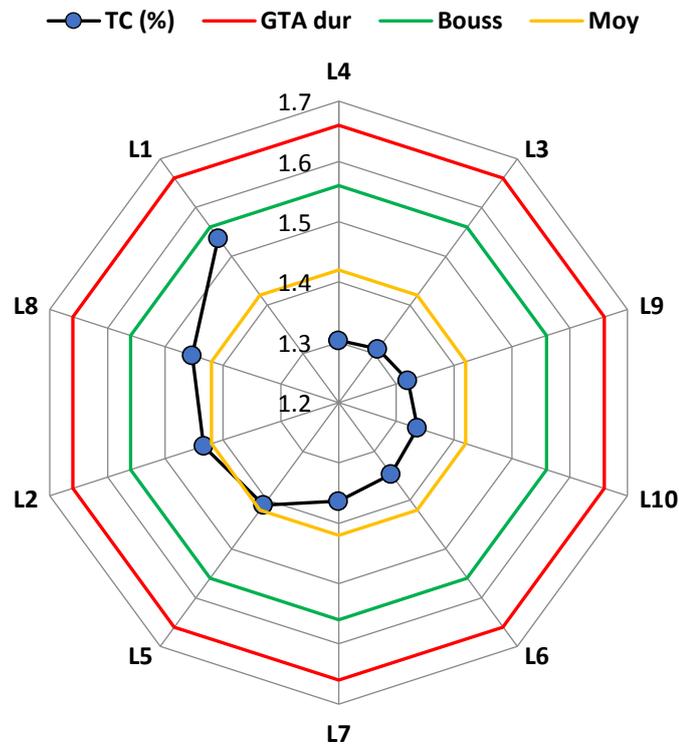


Figure 12 : Valeurs moyennes du taux de cendres du grain des lignées et des témoins de blé dur.

III.1.2.10. Rendement en grains

Quoique l'analyse de la variance n'a pas mis en évidence des différences significatives entre les 12 génotypes évalués pour le rendement en grains (Tableau 03), nos résultats montrent que les lignées L3 (43.5 Q/Ha), L6 (43.0 Q/Ha) et L5 (42.5 Q/Ha) expriment des performances meilleures relativement au meilleur témoin GTA dur (41.2 Q/Ha) alors que toutes les lignées sont plus productives que Bousselam (36.7 Q/Ha) (Figure 13). La moyenne générale du rendement est de 39.98 Q/Ha et la ppds est égale à 9.77 Q/Ha (Tableau 04).

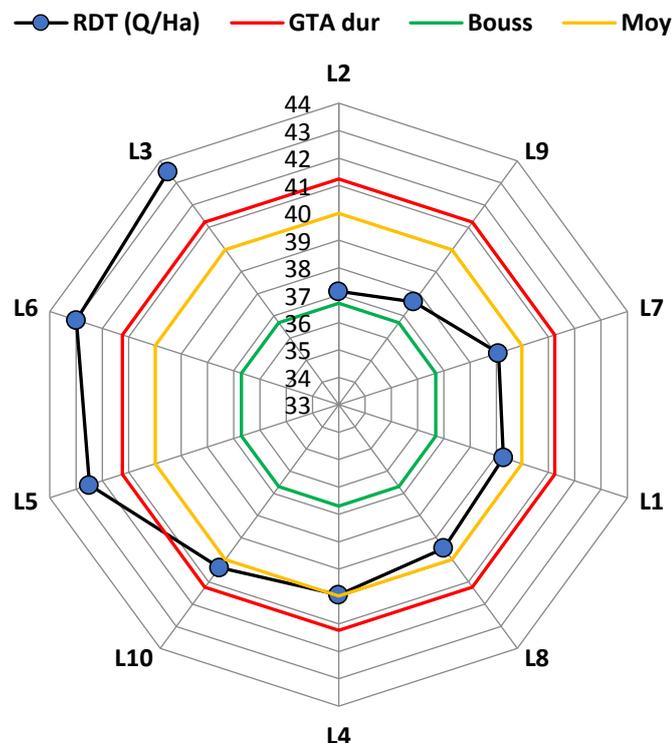


Figure 13 : Valeurs moyennes du rendement en grains des lignées et des témoins de blé dur.

III.2. Analyses effectuées sur la semoule

III.2.1. Analyse de la variance

L'analyse de la variance a mis en évidence un effet variété significatif à très hautement significatif pour les trois variables mesurées (Tableau 05) suggérant une variabilité importante à l'intérieur du matériel végétal évalué pour ces caractéristiques de qualité. Les valeurs enregistrées par le coefficient de variation sont assez faibles ce qui répercute la bonne manipulation de cette expérience (Tableau 05).

Tableau 05 : Carrés moyens de l'analyse de la variance des variables mesurées sur la semoule.

SV	Répétition	Génotype	Erreur	CV (%)
ddl	2	11	22	
IB	0.627	3.602***	0.400	4.78
CH	4.739	10.245***	1.630	1.88
W	1073.694	4426.270*	1391.573	9.72

IB : Indice de brune de la semoule, CH : Capacité d'hydratation, W : Force boulangère, CV : Coefficient de variation, * et *** : Différence significative et très hautement significative au seuil de 5 % et 0.1%, respectivement.

III.2.2. Etude des valeurs moyennes

Les valeurs moyennes, minimales, maximales des variables mesurées sur la semoule sont données au tableau 06.

Tableau 06 : Valeurs moyennes, minimales, maximales et écart-types des variables mesurées sur la semoule.

Variable	Minimum	Maximum	Moyenne	Ecart-type	Ppds (5%)
IB	9.83	14.07	13.23	1.10	1.07
CH	63.10	69.40	67.76	1.85	2.16
W	334.33	440.33	383.97	38.41	31.58

IB : Indice de brune de la semoule, CH : Capacité d'hydratation, W : Force boulangère.

III.2.2.1. Indice de brune

L'intérêt de sa mesure est surtout commercial, le consommateur recherche des semoules claires, de belle couleur, or la législation interdit toute adjonction de colorants, la couleur ne peut provenir que de blé dur. Dans ce travail, l'indice de brune varie de 9.83%, moyenne minimale observée chez la variété témoin Boussem à 14.07%, moyenne maximale trouvée chez la lignée L6 (Tableau 06, Figure 14). La moyenne générale de l'indice de brun est 13.23% et la plus petite différence significative est de 1.07%.

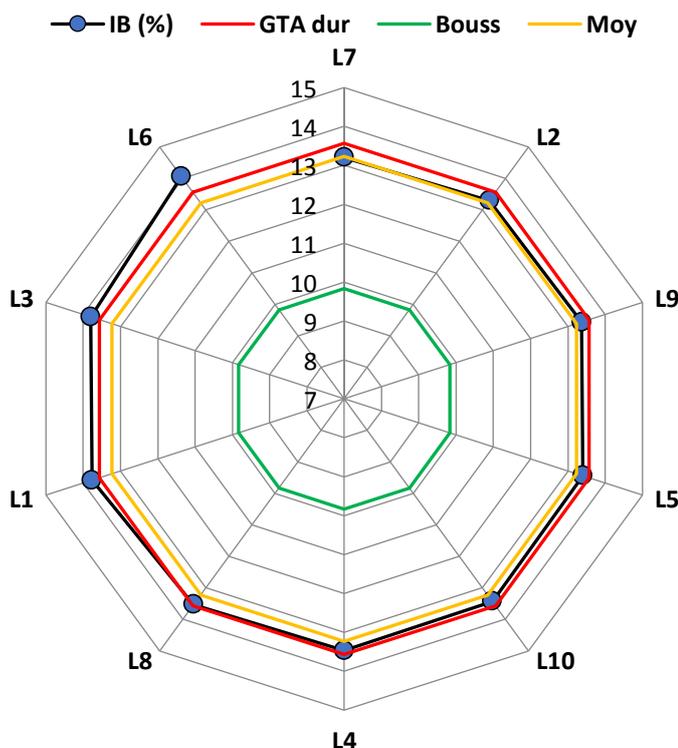


Figure 14 : Valeurs moyennes de l'indice de brune de la semoule des lignées et des témoins de blé dur.

Toutes les lignées avancées présentent une semoule statistiquement similaire à celle de GTA dur mais significativement plus sombre que celle de Bousselam (Figure 14). **Houiaropoulos *et al.* (1981)** classent la coloration de la semoule (valeur indice de brun) en trois catégories : élevée (IB > 21%), moyenne (21% > IB > 18%) et faible (IB < 18%). D'après cette échelle, on conclue que toutes les lignées présentent une semoule relativement claire même si la différence telle que indiquée par l'ANOVA est significative (Tableau 05).

III.2.2.2. Capacité d'hydratation

Les valeurs moyennes de la capacité d'hydratation des échantillons de semoule oscillent entre 63.10%, valeur minimale exhibée par le témoin Bousselam et 69.40%, moyenne maximale observée chez la lignée L7, autour d'une valeur moyenne globale de 67.76% et une ppds de 2.16% (Tableau 06, Figure 15). Toutes les lignées évaluées dans la présente investigation présentent une capacité d'hydratation de la semoule significativement meilleure que celle des deux témoins et ce dans le sens souhaité de la sélection (Figure 15). Selon **Kiger et Kiger (1967)**, la capacité d'hydratation moyenne est de 66%, mais peut augmenter jusqu'à 69% avec l'augmentation du taux d'extraction, ou diminuer jusqu'à 60% avec le vieillissement de la semoule.

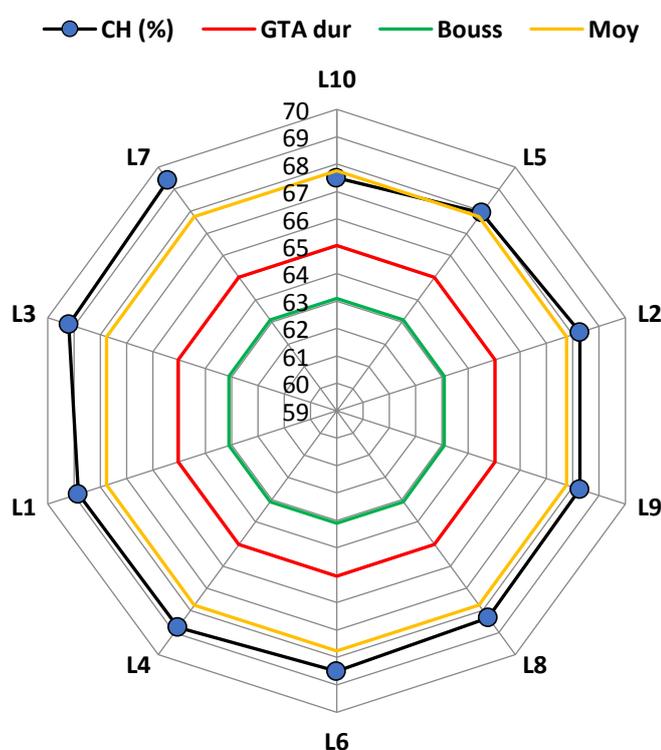


Figure 15 : Valeurs moyennes de la capacité d'hydratation chez les lignées et des témoins de blé dur.

III.2.2.3. Force boulangère

La qualité boulangère est le paramètre le plus utilisé dans les transactions commerciales. Il caractérise la force d'une farine ou semoule super fin (Calvel, 1986). D'après les résultats obtenus dans le tableau 06 et la figure 16, on constate que les valeurs moyennes de ce paramètre varient entre un minimum de 334.33% pour la lignée L3 et un maximum de 440.33% pour la lignée L6, avec une moyenne générale de 383.97% et une ppds égale à 31.58%. Quatre lignées L6, L1, L7 et L5 ont affiché, par ordre décroissant, des forces boulangères supérieures au meilleur témoin Bousselam (Figure 16). D'après le classement de Roussel et Chirion (2005), les génotypes dont $W < 150$ ont une force boulangère insuffisante, ceux avec $150 < W < 180$ présentent une force boulangère moyenne ; les cultivars à $180 < W < 220$ présentent une bonne force boulangère ; alors que ceux avec $W > 220$ exhibent une force boulangère élevée. Ceci nous permet de constater que tous nos génotypes (lignées et témoins) ont une force boulangère très bonne.

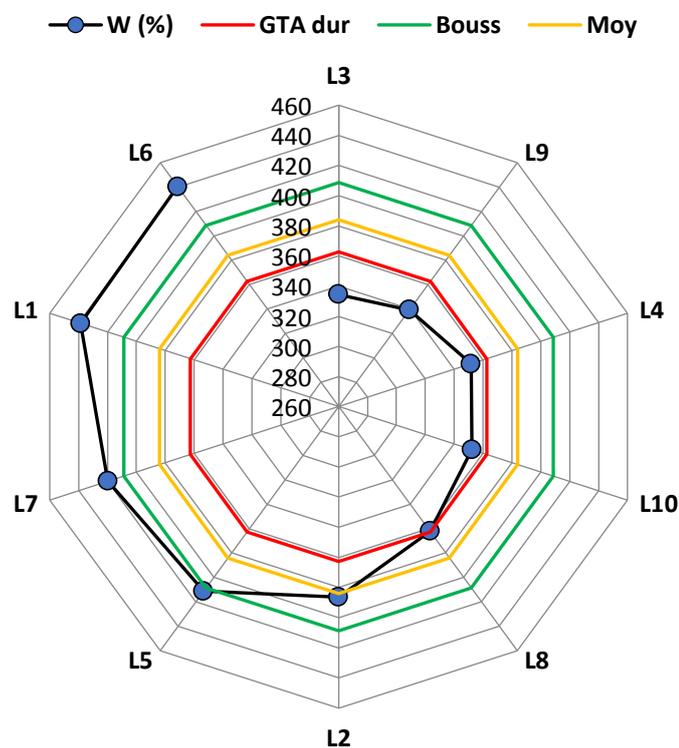


Figure 16 : Valeurs moyennes de l'indice W décrivant la force boulangère des lignées et des témoins de blé dur.

III.3. Corrélations phénotypiques inter-caractères

Les coefficients de corrélation entre les douze variables mesurées sont illustrés dans le tableau 07. La vitrosité présente des liaisons significatives, positive avec le poids de mille grains ($r = 0.576^*$) et négative avec le taux de mitadinage ($r = -0.820^*$). Ce dernier est

négativement corrélé aux taux de protéines ($r = -0.643^*$) et de gluten humide ($r = -0.640^*$). Le taux de protéines exprime aussi une association positive et significative au taux de gluten ($r = 0.999^*$) et à la force boulangère ($r = 0.627^*$) qui exhibe elle-même une liaison forte au taux de gluten ($r = 0.629^*$). D'autres part, le taux de cendres est négativement et significativement corrélé au poids spécifique ($r = -0.761^*$) et à l'humidité du grain ($r = -0.871^*$). Cette dernière explore aussi des liaisons positives fortes avec le poids spécifique ($r = 0.753^*$) et à la capacité d'hydratation ($r = -0.666^*$) qui par leur tour montre des associations significatives, positives avec le poids spécifique ($r = 0.875^*$) et l'indice de brune ($r = 0.780^*$), et négative avec le taux de cendres ($r = -0.693^*$). Ces résultats suggèrent que les génotypes à gros grains, ont un poids spécifique, une vitrosité, des teneurs en protéines et en gluten élevées, des taux de mitadinage et de cendres relativement faibles, une forte capacité d'hydratation et bonne force boulangère.

Tableau 07 : Corrélations phénotypiques entre les variables mesurées chez les génotypes de blé dur.

Variables	PS	Dur	Vitro	Mita	H	TP	TG	TC	RDT	IB	CH	W
PMG	0.495	-0.153	0.576	-0.268	0.470	0.476	0.481	-0.215	0.062	0.187	0.476	0.555
PS		-0.346	0.525	-0.050	0.753	0.081	0.070	-0.761	0.133	0.566	0.875	-0.149
Dur			0.287	-0.568	0.104	0.000	-0.004	0.069	0.254	-0.463	-0.340	0.325
Vitro				-0.820	0.501	0.558	0.552	-0.238	0.084	0.170	0.545	0.418
Mita					-0.120	-0.643	-0.640	-0.085	-0.306	-0.099	-0.225	-0.423
H						-0.029	-0.037	-0.871	0.105	0.205	0.666	0.153
TP							0.999	0.242	0.337	0.451	0.369	0.627
TG								0.250	0.334	0.439	0.353	0.629
TC									-0.238	-0.366	-0.693	0.289
RDT										0.575	0.314	-0.017
IB											0.780	-0.142
CH												-0.029

PMG : Poids de 1000 grains, PS : Poids spécifique, Dur : Dureté du grain, Vitro : Vitrosité du grain, Mita : Taux de mitadinage, HG : Humidité du grain, TP : Taux protéines, TG : Taux de gluten humide, TC : Taux de cendres, RDT : Rendement en grains, IB : Indice de brune de la semoule, CH : Capacité d'hydratation, W : Force boulangère, les valeurs en gras sont significatives au seuil de 5%.

Les trois meilleures lignées en termes rendement sont L3, L5 et L6 et présentent des performances supérieures à celle du meilleur témoin GTA dur (Tableau 04). Ces lignées, quoique la différence moyenne de leur rendement relativement à GTA dur est statistiquement non significative (43.0 vs 41.2 Q/Ha soit une augmentation de 1.9 Q/Ha = 4.27%), se caractérisent également par des améliorations relatives appréciables de toutes les variables mesurées sur le grain et la semoule dans les sens désirés de la sélection, hormis pour l'indice de brune avec un effet négligeable (Figure 17). Les effets les plus intéressants sont ceux observés pour le poids de mille grains (7.82%), le poids spécifique (12.76%), la dureté du

grain (4.59%), la vitrosité du grain (11.45%), le taux de mitadinage (-57.38%), le taux de cendres (-18.34%), la capacité d'hydratation (5.40%) et enfin la force boulangère (9.01%) (Figure 17). Ces résultats suggèrent que ces lignées méritent d'être proposées pour être inscrite au catalogue des variétés autorisées à la commercialisation et/intégrées dans les programmes d'amélioration pour être utilisées comme géniteurs de par leurs performances productives élevées et la qualité de leur produit remarquable.

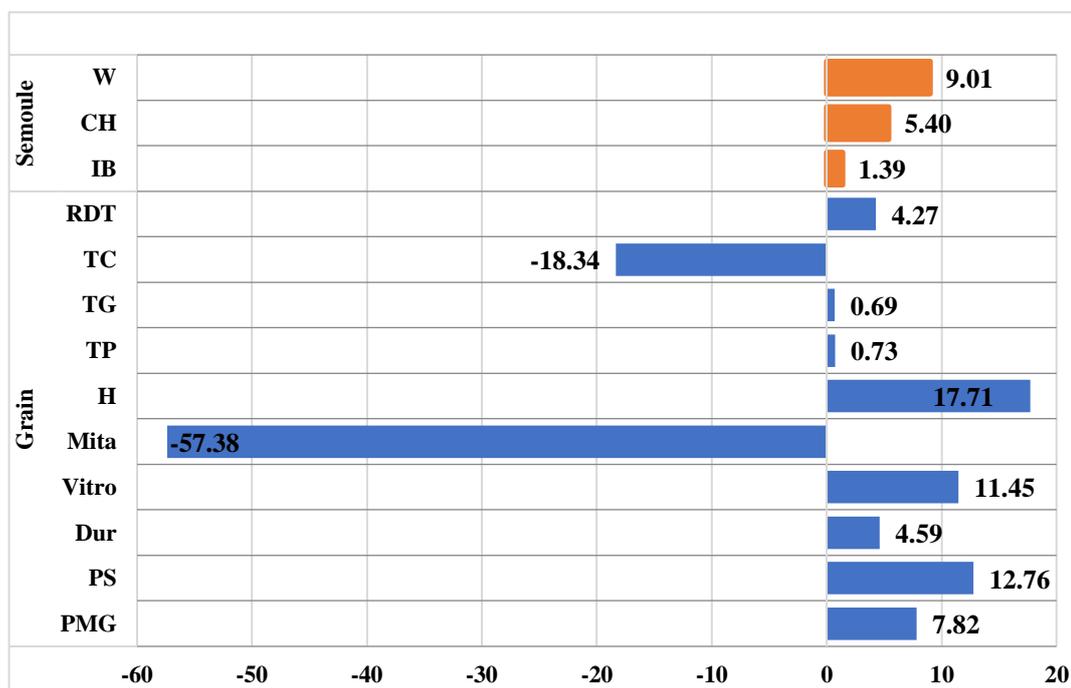


Figure 17 : Ecarts (%) relatifs des performances moyennes de L3, L5 et L6 comparativement à celle de GTA dur.

Conclusion

L'objectif de l'étude est d'apprécier la qualité technologique de 10 lignées avancées de blé dur en comparaison avec 2 variétés témoins GTA dur et Bousselam. Les résultats indiquent la présence d'une variabilité assez large pour l'ensemble des caractères mesurés. Les valeurs moyennes maximales et minimales varient suivant le génotype et le caractère. Le poids de mille grains est meilleur chez les lignées avancées relativement au meilleur témoin (Bousselam), hormis L4 et L8. De même, le poids spécifique des grains des nouvelles lignées dépasse largement celui des témoins. Les valeurs moyennes de la dureté du grain de Bousselam est supérieure à celle de tous les autres génotypes. A l'exception de L9, L10, L8 et L6, toutes les autres lignées ont un taux de mitadinage significativement inférieur aux deux témoins. Parmi ces quatre lignées, seule L9 exhibe une vitrosité du grain plus faible que le meilleur témoin Bousselam. Les lignées L1, L6, L2, L5 et L7 présentent des teneurs en protéines et en gluten humide meilleures que le meilleur témoin GTA dur dans le sens d'améliorer ces caractéristiques. Du point de vue capacité d'hydratation, les nouvelles sélections sont plus intéressantes que les témoins. Tous les génotypes présentent des taux d'humidité et de cendres dans les normes avec une semoule claire et une force boulangère très bonne. Aucune différence significative n'est, par contre, observée entre les 10 génotypes pour le rendement en grains tel qu'il est indiqué par l'ANOVA. Toutefois, les trois meilleures lignées (L3, L5 et L6), en termes de productivité, se distinguent aussi par des améliorations relatives importantes pour la plupart des variables décrivant la qualité technologique de la semoule. Les nouvelles sélections méritent d'être exploitées à des fins de sélection pour améliorer la qualité du produit fini dans les programmes futurs d'amélioration de blé dur.

Références bibliographiques

Abecassis, J., Cuq, B., Boggini, G. & Namoune, H. (2012). Other traditional durum-derived products *In: Durum wheat chemistry and technology*, 2nd ed pp. 177–199. (AACC International: St. Paul, MN)

AFNOR (1994). Méthode d'élimination des impuretés de blé dur. NF ISO 11050, V03-718,

AFNOR (1991). Contrôle de la qualité des produits alimentaire céréales et produits céréaliers. Afnor 3^{ème} édition. 360 pages. *Agronomiques de Montpellier*, France, 283 p.

Amir, Y., Djabbri, D., Guellil, H. & Youyou, A. (2004). Influence of environmental factors on the quality of wheat grown in north Algeria, *JFAE (Finland)*, 2(2): 315-319.

Anonyme (2020). Marché du blé dur France, Union européenne, Monde (2019-2020). *FranceAgriMer*. <https://actualites-agricoles.coopdefrance.coop/images/files/2020/AA-2020-0228/Bilan%20Ble%CC%81%20dur%202019-2020.pdf>

Bayram, M. (2008). An analysis of scorched immature wheat: *frekeh*. *Cereal Foods World*, 53: 134-186.

Belaïd, D. (1996). Aspect de la céréaliculture, Algérien. *Office des publications universitaires*. Alger, 208 p.

Benbelkacem, A., Sadli, F. & Brinis, L. (1995). La recherche pour la qualité des blés durs en Algérie. *Options Méditerranéennes : Série A. Séminaires Méditerranéens*, (22): 61-65.

Blanco, A. & De Giovanni, C. (1993). *Triticum dicoccoides* for qualitative improvement of durum wheat: associations of protein loci to grain quality traits in recombinant inbred lines. *Proc. Seminar on Durum Wheat Quality in the Mediterranean Regions, Zaragoza 17-19 Nov 1993. Options Méditerranéennes*, 22: 149-158

Boudreau, A. & Menard, G. (1992). Le blé, éléments fondamentaux et transformation. Ed : *les presses de l'université de LAVAL*, 439 p.

Bouzerzour, H. (1998). Sélection pour le rendement, la précocité, la biomasse et l'indice de récolte chez l'orge (*H. vulgare L.*) en zone semi-aride. *Thèse de Doctorat, ISN, Univ. Constantine*.

Boyardieu, J. (1980). Les cultures céréalières. *Ed Hachette*. France.

Bozzini, A. (1988). Origin, distribution, and production of durum wheat in the world. *In: Durum Wheat: Chemistry & Technology*. *Fabriani G., Lintas C. (eds), Am. Assoc. Cereal Chem.: St. Paul, MN., pp. 1-16.*

Bure, J. (1980). La Pâte de farine de froment, *in la Chimie du blé*, SEPAIC Ed., p. 148.

Calvel, R. (1986). La boulangerie moderne. Ed. APRIA, 527 p.

Chaker, A. (2003). Etude de l'effet des stress thermiques (chaleur et froid) sur quelques paramètres physiologiques et biochimiques du blé dur (*Triticum durum* Desf.). *Mémoire. Magistère. Univ. Annaba.*

Cheftel, J. C. & Cheftel, H. (1992). Introduction à la biochimie et à la technologie des aliments. V1. *Tec & Doc.* Paris, *Lavoisier*, 381 p.

CIC (2017). Conseil international des céréales, Principaux producteurs mondiaux de blé dur en 2016 et 2017. <https://fr.statista.com/statistique>

CIC (2019). Conseil international des céréales, Dynamisme des exportations françaises vers les pays tiers, stocks céréaliers à l'équilibre en fin de campagne <https://www.franceagrimer.fr/>

CIC (2020). Conseil international des céréales, Bilan de blé dur en Algérie de 2010/11 à 2019/20. *franceAgir.*

Clement, T., Grancourt, M. M. & Prats, J. (1971). Les céréales. 2ème édition, Ed. J.B. Bailliere et fils. France, pp 351.

Curtis, B. C., Rajaram, S. & Gómez Macpherson, H. (2002). Bread wheat. Improvement and production. FAO Plant Production and Protection Series No. 30. FAO, Rome.

Debiton, C. (2010). Identification des critères du grain de blé (*Triticum aestivum* L.) Favorables à la production de bioéthanol par l'étude d'un ensemble de cultivars et par l'analyse protéomique de lignées isogéniques waxy. Thèse de Doctorat Université Blaise Pascal, *Clermont-Ferrand France*, 132 p.

Dexter, J. E., Matsuo, R. R. & Daniel, R. W. (1989). The influence of heat damage on durum wheat spaghetti quality. *Canadian Institute of Food Science and Technology Journal*, 22: 227-237.

Dexter, J. E. & Edwards, N. M. (1998). Incidence des facteurs de classement fréquemment détectés sur l'aptitude technologique du blé dur. Commission canadienne des grains, Laboratoire de recherches sur les grains, Winnipeg (Manitoba) R3C 3G8 Contribution no M231. *Association of Operative Millers Trade Show, Phoenix (Arizona)*, pp 2-23

Djelti, H. (2014). Etude de la qualité du blé tendre utilise en meunière algérienne. *Mémoire de magistère présenté à l'Université Abou Bekr Belkaid-Tlemcen.* 25-27 p.

Djermoun, A. (2009). La production céréalière en Algérie: les principales caractéristiques. *Nature & Technology*, 1: 45.

Dobraszczyk, B. J. (1994). Fracture mechanics of vitreous and mealy wheat endosperm. *Journal of Cereal Sciences*, (19): 273-282.

DSASI (2019). Direction de la Statistique Agricole et des Systèmes d'Information. Statistique de la production céréalière, MADR.

- Erroux, J. (1974).** Agronomie méditerranéenne. Le milieu méditerranéen et ses problèmes. La culture vivrière en Algérie, 387 p.
- FAO (2018).** Food and Agriculture Organisation, Perspectives de l'alimentation Les marchés en bref. <http://www.fao.org/>
- FAO (2020).** Food and Agriculture Organisation, Bulletin de la FAO sur l'offre et la demande de céréales. <http://www.fao.org/>
- Feillet, E. (2000).** Le grain de blé, composition et utilisation. Ed INRA.
- Feldman, M. & Sears, E. R. (1981).** The wild gene resources of wheat. *Scientific American*, 244(1): 102-113.
- Fellahi, Z. (2017).** Analyse génétique d'un croisement line x tester, réponse à la sélection et tolérance des stress du blé tendre (*Triticum aestivum* L.) sous condition semi arides. Thèse de Doctorat, Université Ferhat Abbas Sétif 1, 230 p.
- Fellahi, Z., Hannachi, A. & Bouzerzour, H. (2020).** Expected genetic gains from mono trait and index based selection in advanced bread wheat (*Triticum aestivum* L.) populations. *Revista Facultad Nacional de Agronomía*, 73(2): 9131-9141.
- Fredot, E. (2005).** Connaissance des aliments. Bases alimentaires et nutritionnelles de la diététique. Ed. *Tec et DOC*, 397 p.
- Glenn, G. M. & Saunders, R. M. (1990).** Physical and Structural-Properties of Wheat Endosperm Associated with Grain Texture. *Cereal Chemistry*, 67(2): 176-182.
- Godon, B. & Loisel, W. (1984).** Guide pratique d'analyses dans les industries des céréales. *Pari*, 685 p.
- Godon, B. (1991).** Biotransformation des produits céréaliers. *Ed. Lavoisier* (221), 598p.
- Godon, B. & Willm, C. (1998).** Les industries de première transformation des céréales. *Ed. Lavoisier*, 656 p.
- Greffeuille, V., Abecassis, J., Lapierre, C. & Lullien-Pellerin, V. (2006).** Bran Size Distribution at Milling and Mechanical and Biochemical Characterization of Common Wheat Grain Outer Layers: A Relationship Assessment. *Cereal Chemistry*, 83(6): 641-646.
- Grignac, P. (1978).** Le blé dur: Techniques agricoles. *Tome I*, 6-10.
- Haddad, Y., Benet, J. C. & Abecassis, J. (1998).** A rapid general method for appraising the rheological properties of the starchy endosperm of cereal grains. *Cereal Chemistry*, 75(5): 673-676.

Haddad, Y., Benet, J. C., Delenne, J. Y., Mermet, A. & Abecassis, J. (2001). Rheological behaviour of wheat endosperm - Proposal for classification based on the rheological characteristics of endosperm test samples. *Journal of Cereal Science*, 34: 105-113.

Hannachi, A., Fellahi, Z., Bouzerzour, H. & Boutekrabt, A. (2013). Diallel-cross analysis of grain yield and stress tolerance-related traits under semi-arid conditions in Durum wheat (*Triticum durum* Desf). *Electronic Journal Plant Breeding*, 4: 1027-1033.

Hannachi, A. (2017). Aptitude à la combinaison, sélection mono et multi caractères et adaptabilité du blé dur (*Triticum durum* Desf.) aux conditions semi arides. Thèse de Doctorat. Université Farhat Abbas-Sétif 113 p.

Houiaropoulos, E., Abecassis, J. & Autran, C. (1981). Produits de mouture du blé. Coloration et caractéristiques culinaire. *Industries des céréales*, 2: 3-13.

Jeantet, R., Crogunnec, T., Schuck, P. & Bruleg, G. (2007). Science des aliments. Volume 2. Ed. *TEC et DOC. Lavoisier*, Paris, 453 p.

Jiang, D., Yue, H., Wollenweber, B., Tan, W., Mu, W. & Bo, Y. (2009). Effects of post-anthesis drought and water logging on accumulation of high-molecular weight glutenin subunits and glutenin macropolymers content in wheat grain. *Journal of Agronomy and Crop Science*, 195: 89-97.

Kellou, R. (2008). Analyse du marché algérien du blé dur et les opportunités d'exportation pour les céréaliers français dans le cadre du pôle de compétitivité Qualité Méditerranée. *Le cas des coopératives Sud Céréales, Groupe coopératif Occitan et Audecoop. Série « Master of science » n° 93 à l'institut agronomique Méditerranéen de Montpellier .éd .CIHEAM-IAMM*, p 9, 42, 59,60.

Kiger, J. L. & Kiger, J. G. (1967). Techniques modernes de biscuiterie, pâtisserie, boulangerie industrielles et artisanales et des produits de régime. Paris, Ed. Dunod, 1 vol., 676 p.

Kleijer, G. (2002). Sélection des variétés de blé pour la qualité boulangère. *Revue Suisse Agriculture*, 34(6): 253-259.

Laraba, D. (1989). Contribution à la composition du blé vert concassé et grillé d'une variété locale BIDI 17. Mémoire d'ingénieur d'état I.N.A.T.A.A. *Université des frères Mentouri, Constantine*, 86 p.

Laumont, P. & Eroux, J. (1961). Inventaire des blés dur rencontrés et cultivés en Algérie. Mémoire de la société d'histoire naturelle de l'Afrique du nord –Alger. La thypolitho et Jules carbonel réunie.

Lesage, V. (2011). Contribution à la validation fonctionnelle du gène majeur contrôlant la dureté/tendreté de l'albumen du grain de blé par l'étude de lignées quasi-isogéniques. *Thèse*

de doctorat présenté à l'université Blaise Pascal pour l'obtention du grade de docteur d'université, pp : 17-18.

Louisot, P. (1997). Les protéines Caractéristique des différentes sources de protéines alimentaires. *Dossier scientifique de l'IFN*, 9: 6-7.

Madani, M. (2009). Qualité technologique de quelques céréales (blé tendre, blé dur, orge et triticale) C/S du laboratoire de technologie de l'ITGC, 20 p.

MADRP (2017). Ministère de l'Agriculture, du Développement Rural et de la Pêche Statistique de rendement de blé dur en 2016/2017.

Mahaut, B. (1996). Comment évalue-t-on la qualité d'un blé dur ? *In colloque "Perspectives blé dur"*. Éd. ONIC, ITCF. France, pp : 29-31.

Mohamed, S. H., El-Said, R. A. R. & Abd-El-Haleem, S. H. M. (2013). Estimation of heritability and variance components for some quantitative traits in Bread Wheat (*Triticum aestivum* L.). *World Applied Sciences Journal*, 27(8): 944-949.

Monneveux, P. (1991). Quelles stratégies pour l'amélioration génétique de la tolérance à au déficit hydrique des céréales d'hiver. *In amélioration des plantes pour l'adaptation aux milieux arides*. N. Chalabi and Y. Demarly (eds). Tunis (Tunisie), AUPELF- UREF, pp: 165-186.

Moule, C. (1980). Les céréales. Ed. La maison rustique. Paris, 318 p.

Nassif, F., Laâmari A. & Boujnah, M. (2012). Importance de la culture du blé dur et évaluation différenciée de dix variétés de blé dur dans la région Chaouia au Maroc. *Al Awamia*, Numéro Double 125-126, pp 57-81.

OAIC (2018). Office Algérien Interprofessionnel des Céréales. Une autosuffisance à hauteur de 90% en blé dur et de 100%. <https://oaic.dz/>.

Pomerayn, Z. (1988). Wheat chemistry and technology. *Am Assoc Cereal Chem St Paul*.

Prevost, Ph. (1976). Génétique. Ed. Lavoisier. Paris, 299 p.

Quaglia, G. B. (1988). Other durum wheat products. *In: Durum wheat. Chemistry and technology*. *Fabriani G. & Lintas (Eds.)*. *Amer. Assoc. Cereal Chem., St. Paul, MN, USA*, pp: 263-282.

Roussel, P. & Chirion, H. (2005). Les pains français. Évolution, qualité, production science et technologie des métiers de bouche, *ISSM* 1297-2606.

Sadowska, J., Jelinski, T. & Fornal, J. (1999). Comparison of microstructure of vitreous and mealy kernels of hard and soft wheat. *Polish Journal of Food and Nutrition Sciences*, 8/49(4): 3-15.

- Sakr, N. & Hajj Moussa, E. (2007).** Comparaison de la qualité des blés libanais à celle des variétés importées de l'étranger et des tinées a la préparation du pin libanais. *Lebanese Science Journal*, 8(2): 87-103.
- Salmi, M., Haddad, L., Oulmi, A., Benmahammed, A. & Benbelkacem, A. (2015).** Variabilité phénotypique et sélection des caractères agronomiques du blé dur (*Triticum durum* Desf.) sous conditions semi-arides. *European Scientific Journal*, 11(2): 99-111.
- Salmi, M., Benmahammed, A., Benderradji, L., Fellahi, Z., Bouzerzour, H., Oulmi, A. & Benbelkacem, A. (2019).** Generation means analysis of physiological and agronomical targeted traits in durum wheat (*Triticum durum* Desf.) cross. *Revista Facultad Nacional de Agronomia*, 72(3): 8971-8981.
- Shewr, Y P. R., Taham A. S., Forde J., Kreis M. & Miflin, B. J. (1986).** The classification and nomenclature of wheat gluten protéins. A reassessment. *Journal of Cereal Science*, 4: 97-106.
- Simon, H., Codaccioni, P. & Lecoœur, X. (1989).** Produire des céréales à paille. Agriculture d'aujourd'hui. *Ed. Lavoisier*, Paris, 333 p.
- Surget, A. & Barron, C. (2005).** Histologie du grain de blé. *Industrie des Céréales*, (145): 3-7.
- Taha, S. A. & Sagi, F. (1987).** Relationships between chemical compositions of durum wheat Semolina and macaroni quality. II. ASH, carotenoid pigments and oxidative enzymes. *Cereal Research and Communication*, 15: 123-129.
- Troccoli, A., Borelli, G. M., De Vita, P., Fares, C. & Di Fonzo, N. (2000).** Durum Wheat quality. A multidisciplinary Concept. *Journal of Cereal Science*, (32): 99-113.
- Vespa, R. (1984).** Semences des céréales à paille, *D. Agro*, n° 1, Paris, pp : 14-94.
- Zahid, A. (2010).** Mécanismes cellulaires et moléculaires régissant le métabolisme des semences de céréales Rôle du réseau rédoxines. Système antioxydant dans la prédiction de la qualité germinative. *Thèse de doctorat présenté à l'université de Toulouse pour l'obtention du grade de Docteur universitair*. p18-45.
- Zahour, A. (1992).** Manuels scientifiques et techniques. Eléments d'amélioration génétique des plantes. *Actes Institut agronomique et vétérinaire Hassan II, Rabat, Maroc*.
- Zouaoui, G. (1993).** Etude en F1 et F2 des hybrides issus du croisement de 05 variétés de blé dur : détermination génétique des principaux caractères a intérêt agronomique. Mémoire Ing. *D'Etat. I.N.R.A El Harrach. Alger*.

Résumé

La présente étude a été conduite aux moulins de Gerbior groupe Ben Hamadi, Bordj Bou Arreridj sur la semence de 12 génotypes de blé dur (*Triticum durum* Desf.), collectés à partir d'un essai conduit à l'INRAA-Sétif au cours de la campagne agricole 2018/19. Elle porte comme objectif d'apprécier la qualité technologique de 10 nouvelles sélections comparativement à 2 témoins GTA dur et Bousselam. A l'exception de L4 et L8, les autres lignées expriment un PMG meilleur relativement au meilleur témoin aboutissant à un poids spécifique des grains largement supérieur. Les lignées L1, L6, L2, L5 et L7 expriment des taux de protéines et de gluten humide plus importants que le meilleur témoin avec une capacité d'hydratation de la semoule plus attirante. Les trois meilleures lignées les plus performantes par rapport au meilleur témoin (L3, L5 et L6) apportent également des améliorations relatives appréciables pour la plupart des variables décrivant la qualité technologique de la semoule. Les nouvelles lignées méritent d'être proposées pour inscription au catalogue officiel et/ou intégrer dans les blocs de croisement pour être exploitées en vue d'améliorer la qualité technologique du blé dur.

Mots clés : *Triticum durum*, sélection, protéine, gluten, corrélation.

Abstract

The present study was carried out at the mills of Gerbior Ben Hamadi group, Bordj Bou Arreridj on the seed of 12 durum wheat (*Triticum durum* Desf.) genotypes, collected from a field trial carried out at INRAA-Setif during the 2018/19 cropping season. Its objective is to assess the end-use quality of 10 new selections compared to 2 checks GTA dur and Bousselam. Except of L4 and L8, the other lines express a better TKW relatively to the best check resulting in a much higher grain specific weight. The L1, L6, L2, L5 and L7 lines express higher protein and wet gluten levels than the best check with a more attractive semolina hydration capacity. In comparison to the best check, the three best performant lines (L3, L5 and L6) also provide appreciable relative improvements for most of the variables describing the end-use quality of the semolina. The new lines deserve to be proposed for inscription in the national official catalog and / or integrated into the crossing blocks to be exploited in view of improving the technological quality of durum wheat.

Key words: *Triticum durum*, selection, protein, gluten, correlation.

ملخص

أجريت الدراسة الحالية بمطاحن مجموعة جريبور بن حمادي برج بو عريريج على بذور 12 نمط وراثي من القمح الصلب (*Triticum durum* Desf.)، تم جمعها من تجربة تم إجراؤها على مستوى محطة INRAA-Sétif خلال الموسم الفلاحي 2018/19. الهدف منها هو تقييم الجودة التكنولوجية لـ 10 سلالات جديدة مقارنة بشاهدين GTA dur و Bousselam. باستثناء L4 و L8، كانت السلالات الأخرى أفضل بالنسبة لوزن ألف حبة مقارنة بأفضل شاهد مؤدية إلى وزن نوعي أعلى. بينت السلالات L1، L6، L2، L5 و L7 عن مستويات أعلى من البروتين والغلوتين الرطب نسبة لأحسن شاهد مع قدرة ترطيب أكثر جاذبية للسميد. مقارنة بأفضل شاهد، أحسن ثلاث سلالات من ناحية المردود (L3، L5 و L6) أيضاً أظهرت تحسينات نسبية ملحوظة لمعظم المتغيرات التي تعبر عن الجودة التكنولوجية للسميد. يستحسن اقتراح إدراج السلالات الجديدة في الفهرس الرسمي الوطني و / أو دمجها في قطع التصلبات ليتم استغلالها في ضوء تحسين الجودة التكنولوجية للقمح الصلب.

كلمات المفتاحية: *Triticum durum*، انتخاب، بروتين، غلوتين، ارتباط.