



الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
RÉPUBLIQUE ALGÉRIENNE DÉMOCRATIQUE ET POPULAIRE

وزارة التعليم العالي و البحث العلمي
MINISTÈRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPÉRIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE



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

جامعة الإخوة منتوري قسنطينة 1
كلية علوم الطبيعة و الحياة

Département : Biologie et Ecologie Végétale

قسم : البيولوجيا و علم البيئة النباتية

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

Domaine : Sciences de la Nature et de la Vie

Filière : Biotechnologies

Spécialité : Biotechnologie et Génomique Végétale

Intitulé :

Etude de la qualité et du rendement de grain de nouvelles variétés de blé dur (*Triticum durum*, Desf.) cultivées dans deux environnements contrastés en Algérie.

Présenté et soutenu par : KHEDDOUMI MEISSA IMENE

Le : 18/07/2019

Jury d'évaluation :

Présidente du jury : Mme. KACEM. N. S (MCB - UFM Constantine -1-).

Encadrant : Mr. BENBELKACEM. A (DR-INRAA -Constantine).

Examineur : Mr. KELLOU. K (MA- UFM Constantine -1-).

Année universitaire
2018 - 2019

Remerciements :

Quelques mots en préambule de cette étude, qui met un point d'orgue sur une année riche et intense.

Je tiens tout d'abord à remercier Dieu le tout puissant et miséricordieux, qui m'a donné la force et la patience d'accomplir ce modeste travail.

En second lieu je tiens à remercier mon encadreur Mr. A. Benbelkacem, son précieux conseil, son aide et sa patience durant toute la période du travail.

Mes vifs remerciements vont également aux membres du jury : Mm N. S. Lacem présidente de mon jury d'évaluation et Mr. K. Kellou Examineur de mon travail, pour l'intérêt qu'ils ont porté à ma recherche en acceptant d'examiner notre travail et de l'enrichir par leur proposition.

A toute l'équipe du laboratoire de GBBV de l'UfMC-1 : Mr. Belbekri, Mme. Ryma et Mme. Phafika pour leur aide et leur gentillesse

A Mme, Bellil INES pour son aide et ses conseils précieux.

Enfin je tiens également à remercier ma famille et toutes les personnes qui ont participé de près et de loin à la réalisation de ce travail et spécifiquement Mr.

Boudersa smail.

Dédicace.

Je dédie ce travail à moi même ;

A mes parents, chère maman et cher papa que dieu vous garde et vous protège ;

A ma grand-mère ;

A l'âme de mes grands parents ;

A mes frères : Mohamed, Hamza, Zaki, Islam et Haithem ;

A mes chères sœurs Souha et Marwa ;

*A mes ami (es) : Issmahane, Phasia, Ines, Rokia, Zahra, Ghada,
Rayane, Anfel, Abir, Amina, Safa, Anfel...*

Meïssa Imène.

Sommaire :

Liste d'abréviations

Liste des tableaux

Liste des figures

Liste des annexes

Introduction	1
Partie I : Synthèse Bibliographique	3
1. Histoire et origine de blé dur	3
2. Classification du blé dur (<i>Triticum durum</i> , Desf.)	4
3. Structure du grain de blé :	5
4. Composition chimique du grain de blé dur	6
5. Production de blé dur dans le monde et en Algérie	7
6. Contraintes de la production du blé	10
6.1 Contraintes pédoclimatique	10
6.2 Contraintes techniques	10
6.3 Contraintes liées aux politiques agricoles	11
6.4 Les accidents physiologiques	12
7. L'amélioration génétique du blé	13
8. Création variétale du blé	13
8.1 Définition de l'approche participative et son rôle dans la création variétale	15
9. Importance et utilisation du blé dur	16
9.1 Dans l'alimentation humaine	16
9.2 Dans l'alimentation animale	16
10. Evaluation de la qualité d'un blé dur	16
10.1 le concept de la qualité	16
10.2 Définition de la qualité	17
10.3 La qualité du grain	17
10.4 Notion de la qualité technologique	17
10.5 Critères d'appréciation de la qualité chez le blé	18
10.5.1 Critères d'orientation de blé dur	18
10.5.2 Analyses physico-chimiques	19
10.5.3 Analyses technologiques	21
10.5.4 Test technologiques	22
11. Les protéines	23

11.1 Classification et propriété	23
11.1.1 Solubilité et classification.....	23
11.1.2 Classification de Shewry (1986).....	24
12. Le rendement en grain	24
Partie II : Matériel & Méthodes	26
1. Matériel végétal	26
2. Caractères mesurés :	28
2.1 Rendement en grains	28
2.2 Détermination de la masse de 1000 grains du blé dur.....	29
2.3 Détermination du taux de mitadinage	30
2.4 Détermination du taux de moucheture	31
2.5 Teneur en gluten Humide/ Sec.....	33
3. Analyses biochimique :	35
3.1 Détermination du taux de protéines et d'humidité des grains par spectroscopie proche infrarouge (NIRS).....	35
3.1.1 Taux de protéines	35
3.1.2 Taux d'humidité des grains.....	35
3.1.3 Principe de la technique NIRS	36
3.1.4 Mode opératoire	36
3.2 Extraction et électrophorèse SDS-PAGE des Protéines totales:.....	36
3.2.1 L'électrophorèse	36
3.2.2 L'électrophorèse de protéines (SDS-PAGE).....	37
3.2.3 Préparation des gels, Dépôt des échantillons et migration	39
3.2.4 La révélation des protéines après l'électrophorèse	40
3.2.5 Traitement des résultats d'électrophorèse.....	41
3.2.6 Test statistique : Analyse de variance « ANOVA »	41
Partie III : Résultats & Discussion	43
1. Caractères mesurés:.....	43
1.1 Rendement en grain.....	43
1.2 Poids de milles grains.....	44
1.3 Taux de mitadinage.....	45
1.4 Taux moucheture.....	46
1.5 Teneur en gluten humide/sec.....	47
2 Analyses biochimique	50
2.1 Taux d'humidité.....	50

2.2 Taux des protéines.....	51
2.3 Electrophorèse de protéines.....	52
2.3.1 Diversité génétique de protéines.....	52
2.3.2 Analyse hiérarchique des variables indice de similarité.....	60
2.3.3 Classification hiérarchique.....	64
Conclusion et Perspectives	67
Références bibliographiques	
Annexes	
Résumés	

Liste d'abréviations :

APS : persulfate d'ammonium

BBP : bleu de bromophénol

CIMMYT : centre international pour l'amélioration du maïs et du blé

CSA : Climat sec airé

FAO : organisation des nations unies pour l'alimentation et l'agriculture

GH : gluten humide

GM : nombre de grains mitadiné

H : teneur en eau des grains

ICARDA : centre international pour la recherche agronomique dans les régions sèches

INRA : institut national de la recherche agronomique

INRAA : institut technique de la recherche agronomique d'Algérie

ITGC : institut technique des grandes cultures

M : masse en grain

M_1 : masse en gramme de grain entier moucheté présent dans 20g de l'échantillon.

M_2 : masse en gramme de grain de prélèvement 20 gramme

NG/M : nombre de grains / mètre carrée

NIRS : Near Infra Red Spectroscopy

OAIC : L'office Algérien interprofessionnel des céréales

P1G : le poids moyen d'un grain

PIR : proche infra rouge

PM : poids moléculaire

PMG : le poids de mille grains

PS : poids spécifique

SDS : sodium dodécylfate

SDS-PAGE : sodium dodécylfate polyacrylamide gel electrophoresis

SG – FPM : sous-unité glutinines de faible poids moléculaire

SG – HPM : sous-unité glutinines de haut poids moléculaire

SG : semoule grosses

SM : semoule moyennes

SSD : singal seed discent

SSSE : semoule sassées super extra

SSSF : semoule sassées super fine

TCA : acide trichloracétique

TEMED : tétraméthyl-éthylène-diamine.

Tris : hydroxyméthyl-aminométhane.

Liste des tableaux

- Tableau 01 :** Classification de Cronquist, (1981).
- Tableau 02 :** Classification d'APG III, (2009).
- Tableau 03:** Distribution histologique des principaux constituants du grain de blé dur (Feillet, 2000).
- Tableau 04 :** Liste des variétés de blé dur testées à Constantine et Oum el Bouaghi en 2017/2018.
- Tableau 05 :** Composition du gel de séparation et du gel de concentration.
- Tableau 06 :** Nombres de bandes observés pour les 20 génotypes testés cultivées à deux environnements contrastés (Constantine-Beni Mestina et Oum El Bouaghi-FP-Ghoul-Sigus).
- Tableau 07 :** Niveau de similarité des 20 génotypes de Beni Mestina.
- Tableau 08 :** Niveau de similarité des 20 génotypes de Sigus.
- Tableau 09 :** Subdivision finale des 20 génotypes de Beni Mestina et Sigus.

Liste des figures

- Figure 01 :** Représentation du croissant fertile-origine du blé (Paul Laurendeau, 2012)
- Figure 02 :** Structure anatomique du grain de blé (Wikipedia, 2019)
- Figure 03 :** Production du blé dans le monde en 2017/2018 (en Mt) (USDA, 2018).
- Figure 04 :** Production mondiale de blé dur par pays en 2016 et projections en 2017 (Conseil International des Céréales, 2017).
- Figure 05 :** Production du blé dur en Algérie au cours de la période 2005-2016 (CIC, 2017).
- Figure 06 :** Grain vitreux (à gauche) et grain mitadiné (à droite) observés au microscope optique (Baasandorj, 2015)
- Figure 07 :** Composition des protéines de la farine : rapprochement entre les classifications d'Osborne et Shewry (Feillet, 2000).
- Figure 08 :** La variabilité des valeurs du rendement en grain pour les deux environnements (Beni Mestina et Sigus) pour la campagne 2017/2018
- Figure 09 :** La variabilité des valeurs de PMG des deux environnements (Beni Mestina et Sigus) pour la campagne 2017/2018
- Figure 10 :** Taux de mitadinage des différentes variétés au niveau des deux sites d'études (Beni Mestina et Sigus) pour la campagne 2017/2018
- Figure 11 :** La variabilité des valeurs de moucheture pour les deux environnements (Beni Mestina et Sigus) pour la campagne 2017/2018
- Figure 12 :** La variabilité au sein des valeurs du taux du gluten humide pour les deux environnements (Beni Mestina et Sigus) pour la campagne 2017/2018
- Figure 13 :** La variabilité des valeurs du taux du gluten sec pour les deux environnements (Beni Mestina et Sigus) pour la campagne 2017/2018
- Figure 14 :** La variabilité des valeurs du taux d'humidité des génotypes testés des deux environnements (Beni Mestina et Sigus) pour la campagne 2017/2018
- Figure 15 :** Variabilité du taux des protéines des génotypes testés pour les deux environnements (Beni Mestina et Sigus) pour la campagne 2017/2018

- Figure 16 :** Gel électro-phorétique-1- des protéines totales des grains de blé dur de 9 géotypes testés cultivés à Constantine-Beni Mestina-
- Figure 17 :** Gel électro-phorétique-2- des protéines totales des grains de blé dur de 7 géotypes testés cultivés à Constantine-Beni Mestina-
- Figure 18 :** Gel électro-phorétique -3- des protéines totales des grains de blé dur de 5 géotypes testés (G17, G18, G19, G20) cultivées à Beni Mestina .
- Figure 19 :** Gel électro-phorétique -4- des protéines totales des grains de blé dur de 2 géotypes (G1 et G2) testés cultivées à Oum El Bouaghi-Sigus-
- Figure 20 :** Gel électro-phorétique -5- des protéines totales des grains de blé dur de 9 géotypes testés cultivées à Oum El Bouaghi-Sigus- .
- Figure 21 :** Gel électro-phorétique -6- des protéines totales des grains de blé dur de 9 géotypes testés cultivées à Oum El Bouaghi-Sigus-
- Figure 22:** Dendrogramme d'après les profils électrophorétique des grains des 20 géotypes des différentes variétés cultivées à Constantine-Beni Mestina.
- Figure 23:** Dendrogramme d'après les profils électrophorétique des grains des 20 géotypes des différenets variétés cultivées à Oum El Bouaghi-Sigus-

Liste des Annexes

Annexe 1 : Moyennes du rendement en grain des variétés étudiées de la récolte 2017/2018 des deux environnements d'études

Annexe 2 : Matériel et produits utilisés

Annexe 3: Extraction et électrophorèse des protéines totales : liste des appareils et matériels

Annexe 4: Données climatologiques pour les deux environnements d'études (2018)

Annexe 5: Tableaux d'analyse de variance « ANOVA » des différents paramètres étudiés

Introduction

Introduction :

Le blé dur (*Triticum durum*, Desf.) est une culture stratégique traditionnelle en Algérie. Elle est appréciée par le consommateur algérien, principalement pour la préparation du pain, du couscous et des pâtes alimentaires. D'autres mets traditionnelles tels que « Chekhchoukha », « Mhadjeb », « Beghrir »...etc sont fabriquées par les ménages par cette céréale. La principale particularité du blé dur réside dans la composition chimique du grain qui donne un produit ferme après la cuisson. C'est cette caractéristique qui destine le blé dur à la fabrication des produits finis du genre pâtes alimentaires et couscous alors que le blé tendre est meilleur pour le pain et les biscuits.

En Algérie, le blé dur est cultivé sur une superficie d'environ 1.7 millions d'hectares annuellement avec un rendement qui varie d'une récolte à l'autre selon les conditions de culture (entre 14 et 18q/ha en moyenne durant la dernière décennie) (APS, 2017). La grande majorité des emblavures de blé dur est située en zones pluviales arides et semi-arides.

La sélection variétale constitue l'un des plus importants facteurs de l'amélioration de la productivité et de la qualité de cette culture. Les rendements des variétés de blé dur ont été nettement améliorés au cours de ces dernières années, mais restent encore dépendants des conditions environnementales difficiles et de la conduite technique de la culture.

La qualité technologique des variétés algériennes de blé dur varie de moyenne à très bonne pour les produits traditionnels mais reste insuffisante pour la fabrication des pâtes alimentaires.

Avec l'appui du Ministère de l'Agriculture, l'Institut National de la Recherche Agronomique (INRAA) entreprend un programme d'amélioration génétique du blé dur en vue d'atteindre une autosuffisance en cette matière de base. D'autres recherches d'accompagnement sont nationales de recherche et d'enseignement.

Les variétés actuelles disponibles ont certainement répondu aux atteintes du planificateur. Cependant, le travail d'amélioration doit être continu pour élever cette culture au rang des standards internationaux de qualité et de rentabilité tout en assurant une adaptation optimale aux conditions algériennes.

L'objectif spécifique de ce travail consiste à étudier la qualité et le rendement en grain d'une collection de nouvelles variétés de blé dur (*Triticum durum*, Desf.) cultivées dans deux environnements différents en Algérie (Constantine (Beni Mestina) et Oum El Bouaghi (Sigus)) afin de mieux évaluer leurs caractéristiques de qualité et du rendement en grain et de déterminer l'effet de l'environnement sur l'expression des génotypes.

Partie I :
Synthèse
Bibliographique

1. Histoire et Origine de blé :

La production mondiale, en progression constante, et les échanges qui se multiplient entre les régions du monde font de cette céréale l'un des principaux acteurs de l'économie mondiale. Le mot blé a longtemps désigné toute une série de céréales, dont le seigle, le sorgho, et le mil. Le mot latin, plus précis, identifie dans le genre *Triticum* les espèces céréalières auxquelles il est légitime de donner le nom de blé. Trois groupes de *Triticum* sont connus, répartis selon le nombre de leurs chromosomes : le groupe diploïde (2x7 chromosomes) comprend *Triticum monococcum* (engrain) et *T. spontaneum*, qui font partie des formes les plus anciennement cultivées, caractérisées par des épis grêles où les grains restent enveloppés par les glumelles. Le groupe tétraploïde (4x7 chromosomes) comprend *T. dicoccoides* (amidonnier sauvage), *T. dicoccum* (amidonnier), *T. turgidum* et *T. durum* (blé dur), à épis denses dont les graines riches en gluten servent à fabriquer les pâtes alimentaires. Le groupe hexaploïde (6x7 chromosomes), représenté par *T. vulgare*, ou *T. aestivum* (blé tendre) et *T. spelta* (épeautre), comprend la majorité des blés à épis assez larges et aux graines riches en amidon nécessaires à la fabrication du pain. Le froment ou blé tendre (*Triticum aestivum*), est de loin l'espèce la plus cultivée de ce genre avec le blé dur (*T. durum*), qui sert à préparer la semoule pour fabriquer des pâtes alimentaires. Le blé dur a été cultivé cent ans avant J.C et son aire géographique (Fig.1) est l'Asie Centrale, Iran, Irak, Abyssinie, Etats-Unis, monde méditerranéen, tandis que le blé tendre dont le nom commun, froment, est cultivé dans le monde entier et ce depuis 7 000 ans avant J.C.

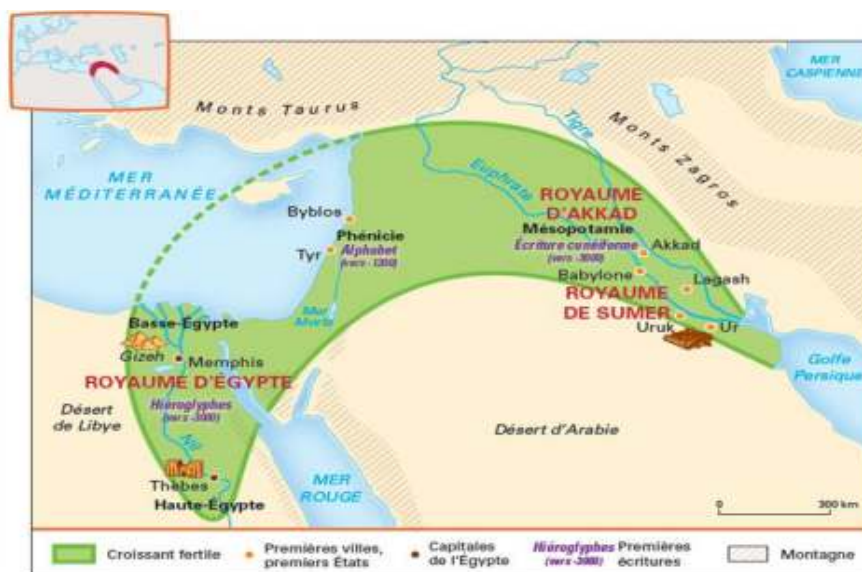


Figure 01: Représentation du croissant fertile-origine du blé (Paul Laurendeau, 2012).

Les autres espèces comme l'épeautre (*T. spelta*), l'engrain (*T. monococcum*), et le blé amidonnier (*T. dicoccum*) ne sont cultivées que dans certains pays d'Asie (Bonjean et Angus, 2001). Le blé est une plante annuelle, autogame à la fois simple car elle suit un processus irréversible de croissance développement, et complexe car son cycle est soumis à une multitude d'inter – relations aussi importantes les unes que les autres. Quisenberry (1976), a dit à son sujet le blé est pour le botaniste, une herbe, pour le biochimiste un composé organique et pour le généticien, un problème (Benseddik et Benabdelli, 2000).

2. Classification de blé dur (*Triticum durum*, Desf.) :

Le blé dur (*Triticum turgidum*ssp. *durum*) est une plante annuelle autogame de la classe des Monocotylédones de la famille des Graminées, c'est-à-dire des végétaux dont le nom étymologiquement, signifie producteur de grains. Les botanistes préfèrent le terme le plus précis de Poacées de la tribu des Triticées et du genre *Triticum*. Leur famille comprend 600 genres et plus de 5000 espèces (Feillet, 2000).

L'organisation des différentes espèces du blé dur, n'est pas triviale. En effet, il existe de nombreuses classifications différentes, très inconsistantes selon qu'elles se basent sur des critères botaniques ou génétiques (Charles, 2010).

D'après la classification de Cronquist, (1981) et APGIII (2009), le blé dur est classé comme suit (**Tableau 01**):

Tableau 01 : Classification de Cronquist, (1981) et APG III, (2009)

	Cronquist, (1981)	APG III, (2009)
Règne	Plantae	/
Sous-règne	Tracheobionta	/
Division	Magnoliophyta	/
Classe	Liliopsida	/
Sous-classe	Commelinidae	/
Ordre	Cyperales	Poales
Famille	Graminées	Poacées
Tribu	Triticeae	/
Genre	<i>Triticum</i>	/
Espèce	<i>Triticum turgidum</i>	/
Sous-espèce	<i>Triticum turgidum subsp.durum</i> (Desf.)	/
Synonyme	<i>Triticum durum</i>	/

3. Structure du grain de blé :

Le grain de blé est un caryopse, type de fruit sec indéhiscant. Le blé dur a des grains vitreux dits « nus » à la maturité. Les trois principales parties de la graine sont : une enveloppe extérieure protectrice appelée testa, un embryon qui se développera au moment de la germination et des réserves nutritives qui permettront la croissance et le développement de l'embryon jusqu'à l'acquisition de l'autonomie par la jeune plantule. Il existe une grande diversité de formes pour chacune de ces parties:

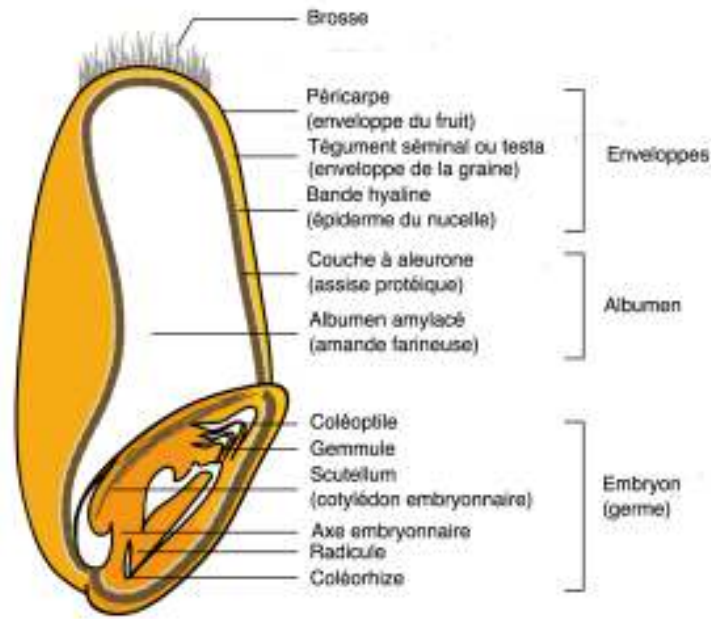


Figure 02 : Structure anatomique du grain de blé (Wikipidia, 2019)

-**La testa** : peut être relativement fine est aisément détachable.

-**L'embryon** : peut être considéré comme une plante miniature, avec une racine (la radicule), une tige (la plume) et une ou deux feuilles (les cotylédons).

-**Les réserves de la graine** : se composent de protéines, de glucides et des lipides qui sont indispensables au développement de l'embryon et à la croissance de la jeune plantule. Ces réserves sont stockées dans un tissu externe à l'embryon : l'endosperme. En plus de cette source d'énergie très concentrée, la graine contient (en assez grandes quantités) des éléments minéraux, tels que du phosphore, du potassium, du magnésium et du calcium ainsi que des micronutriments tels que le fer, le manganèse et le zinc (Turner, 2014).

4. Composition chimique du grain de blé dur :

Le grain de blé dur est constitué principalement d'amidon, de fibres, de protéines, de fibres et d'un faible pourcentage de lipides, de minéraux et de sucre réducteur répartis dans les différentes couches de la graine (**Tableau 02**).

Tableau 02: Distribution histologique des principaux constituants du grain de blé dur (Feillet, 2000).

	% Grain	Part du constituant dans le tissu			
		%Albumen	%Aleurone	%Péricarpe	%Germe
Amidon	68.9	82	0	0	0
Protéines	13.7	12	30	10	31
Fibres	10.2	2	49	83	9
Lipides	2.7	2	9	0	12
Minéraux	1.9	5	12	7	6
Sucre réducteur	2.4	1.8	0	0	30

5. Production de blé dur dans le monde et en Algérie :

➤ Dans le monde :

Le blé en général est la première céréale cultivée au monde. Les superficies cultivées à travers les continents se mesurent en millions d'hectares (soit une superficie 530 mille ha réservée à la culture du blé dur seulement) et les récoltes en millions de tonnes (**Figure 03**).

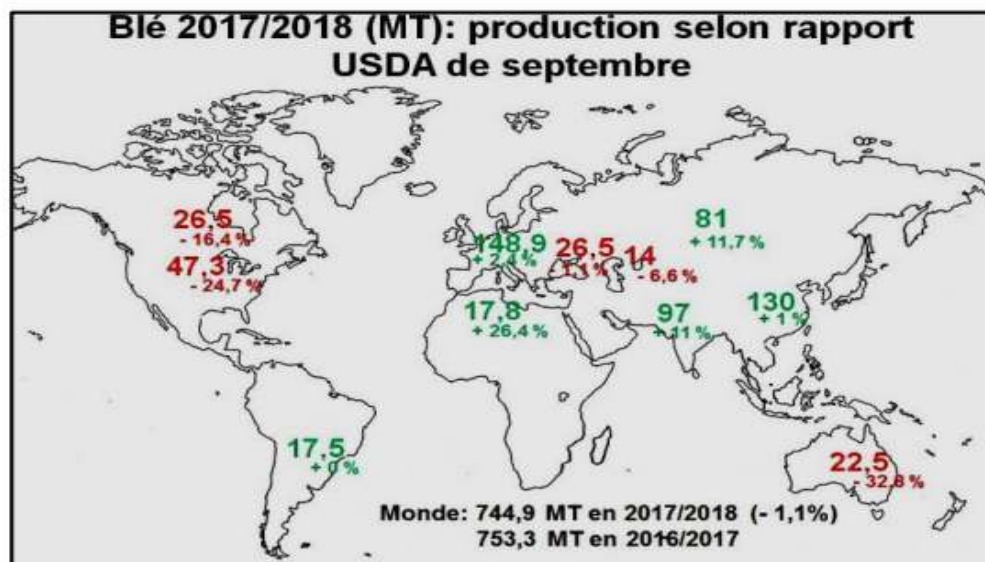


Figure 03: Production du blé dans le monde en 2017/2018 (en Mt) (USDA, 2018)

Le classement de l'année 2016 des principaux pays producteurs du blé dur indique que l'UE est toujours en première position, le Canada en deuxième position alors que les Etats unis se situent en sixième position après le Mexique (**Figure 04**).

L'UE et le continent américain sont excédentaires en blé, ce qui leur confère un avantage économique et géopolitique indéniable. Au contraire, l'Asie et l'Afrique apparaissent déficitaires, ce qui renforce leur dépendance à l'égard des grands pays exportateurs.

Le marché mondial du blé dur est segmenté en différents groupes de pays qui ont diverses capacités de production et de consommation de blé, ce qui rend ce marché plus propice à la volatilité des prix. Seulement 19% de la production mondiale du blé est échangée et il s'agit d'un marché de surplus et d'excédent (Ansart, 2017).

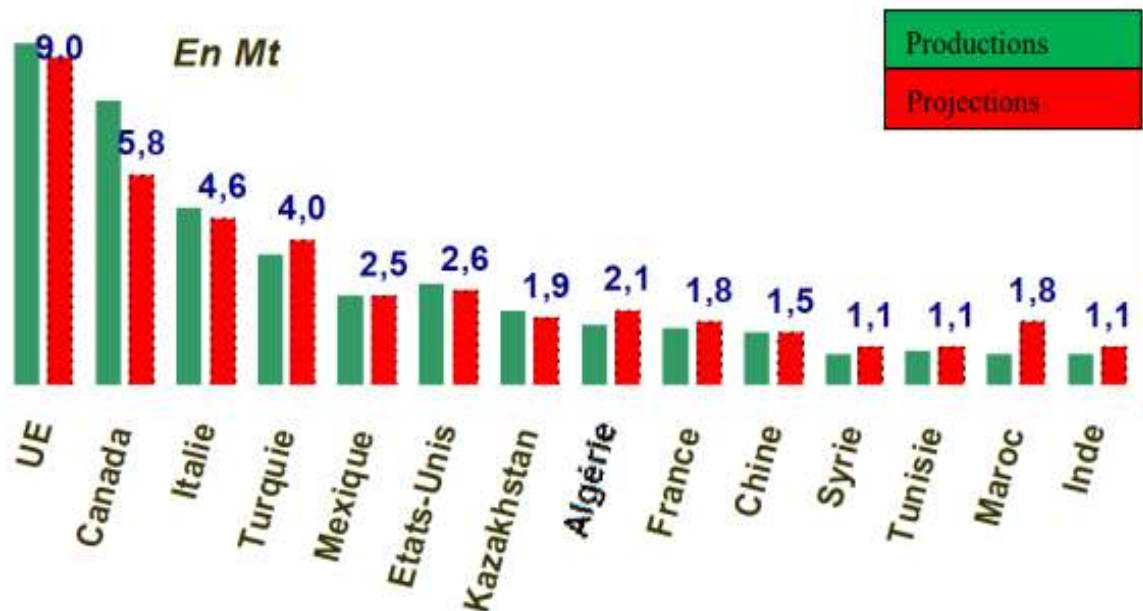


Figure 04: Production mondiale de blé dur par pays en 2016 et projections en 2017 (Conseil International des Céréales, 2017).

La production mondiale de blé pour la campagne 2017/2018 atteindrait 760 millions de tonnes selon la FAO (FAO, 2019).

Pour satisfaire la demande de l'humanité, selon la FAO, il faut augmenter d'au moins 60 % la quantité des produits agricoles disponibles, entre 2005 et 2050 (Gallais, 2015).

➤ **En Algérie :**

La céréaliculture algérienne occupe une superficie de 3.5 millions d'hectares avec 1,6 million d'hectares de blé dur. Une nette amélioration dans la production des céréales a été enregistrée durant la saison 2016-2017, avec une production de plus de 34 millions de tonnes d'après l'Office Algérien Interprofessionnel des Céréales (OAIC, 2017).

Si on s'intéresse d'une manière plus précise au blé dur, on constate qu'il occupe une place très importante dans la structure spatiale de l'activité agricole. Il représente plus de 50% des superficies cérésières récoltées. Actuellement, la superficie moyenne du blé est de plus de 2,35 millions d'hectares (ha) (1.6 million (ha) blé dur), avec une production de plus de 20,03 millions de quintaux (qx). La production de blé dur en Algérie au cours de la période (2005-2016) est donnée en 1000t par la (**Figure 05.**)

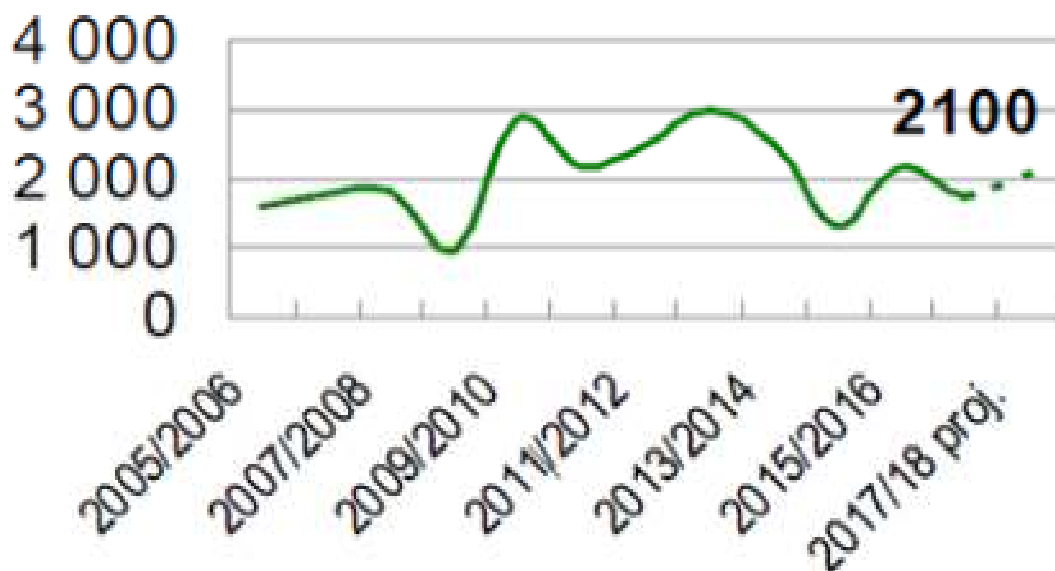


Figure 05: Production du blé dur en Algérie au cours de la période 2005-2016 (CIC, 2017).

Les variations de la pluviométrie contribuent jusqu'à 50% à la différence des rendements d'une année à l'autre, et où la céréaliculture est difficilement substituable nous pouvons confirmer que la culture du blé en Algérie est fortement tributaire des eaux de pluie.

6. Contraintes de la production du blé :

La faiblesse de la production céréalière en Algérie découle en majeure partie des faibles potentiels des rendements (OAIC, 2018). Plusieurs facteurs peuvent être à l'origine de la limitation des rendements du blé :

6.1. Contraintes pédoclimatiques :

Les contraintes pédoclimatiques et celles liées aux pratiques culturales peuvent être résumées comme suit :

- L'irrégularité des pluies avec les stades phénologique du blé. Dans la plupart des régions de culture sèche, le manque d'eau pose problèmes presque chaque année.
- Les pluies torrentielles d'automne provoquent souvent une dégradation de la structure des sols et la formation des croutes ; des battances nuisibles à la germination des graines ;
- Les hautes températures précoces peuvent faire chuter le rendement par l'échaudage de 50% ;
- Le froid constitue un facteur limitant de la production du blé dur (- 4 °C entre le stade épi à 1 Cm et un nœud pénalise le nombre de grains par épi) ;
- Les gelés printanières (le gel des épis au stade floraison) ;
- Les sols du Nord de l'Algérie (zones où se concentre la céréaliculture), sont généralement caractérisés par la présence de sels ; les sols des zones céréalières sont pauvres en matière organique et présentent un pH basique ; et ils sont aussi pauvres en phosphore assimilable et en potasse (Amrani, 2006 ; Hamadache, 2013 ; OAIC, 2018

6.2. Contraintes techniques :

Plusieurs facteurs peuvent être en cause selon Allaoui, 2005; Amrani, 2006; Hamadache, 2013 et OAIC, 2018 :

- L'absence de l'analyse du sol ;
- Le travail du sol sommaire et standardisée avec l'utilisation d'outils non adaptés au sol ;
- Le travail du sol retardé par la sécheresse automnale ;
- Le semis effectué souvent au-delà des délais techniques requis, fréquemment à la volée ;
- Les doses de semis appliquées souvent excessives (avoisinant les 200 kg/ha) ;

- Le faible niveau d'utilisation des engrais, particulièrement pour la fertilisation azotée ;
- Le faible recours à l'irrigation pour la sécurisation de la production ;
- L'absence du choix variétal et de l'identification des variétés selon des potentialités locales et les risques climatiques de la zone ;
- L'absence de traitement des semences autoproduites ;
- L'application non raisonnée des fertilisants, l'application tardive de désherbage et l'absence des traitements phytosanitaires ;
- La faible mécanisation ;
- Le système jachères-blé et tout récemment la monoculture céréalière et les itinéraires techniques associés à ces deux systèmes sont aussi une cause de la faiblesse et de la variation de la productivité du blé dans le temps et dans l'espace ;
- La protection des cultures contre les insectes ravageurs et les maladies cryptogamiques insuffisantes ;
- Les pertes importantes à la récolte.

6. 3. Contraintes liées aux politiques agricoles :

Les politiques économiques suivies par l'Etat, depuis le début des années 1970, ont abouti à une dévalorisation du travail de la terre et de l'investissement agricole au sens large. La réduction des investissements a surtout touché la culture de blé et a favorisé les productions spéculatives (maraichage et aviculture) et l'importation (Hamadache, 2013) :

- La politique de l'Industrialisation

L'industrie lourde surtout menée durant les années 1970 a entraîné un exode massif de la main d'œuvre qualifiée des exploitations agricoles publiques vers les complexes industriels implantés souvent en pleine zone agricole (Hamadache, 2013).

- Contraintes économiques et organisationnelles

Elles sont liées aux coûts de production élevés résultant de la cherté des facteurs de production et de matériel agricole, mais aussi à la disponibilité insuffisante des intrants en qualité et quantité dans les délais recommandés. La dimension limitée (5 à 10 ha) caractérisant la majorité des exploitations céréalières ne permet pas à celle-ci d'engager des investissements notamment pour l'acquisition d'équipement agricole, d'inciter à bénéficier des différents soutiens financiers qui y sont accordées à la céréaliculture.

6.4. Les accidents physiologiques :

- **La Moucheture :**

La moucheture du blé dur, caractérisée par des taches brunes à noires sur le grain de blé à maturité, contribue à déprécier l'aspect des pâtes alimentaires (Samson et Desclaux, 2006). Elle résulte de l'oxydation par l'air de polyphénols. La moucheture semble être favorisée par une humidité élevée entre la floraison et le stade grain laiteux (Hamadache, 2013).

- **La Verse :**

La verse physiologique est un accident mécanique presque toujours consécutif à de fortes précipitations accompagnées ou non de vent. Cependant, différents éléments d'ordre génétique, cultural ou climatique peuvent engendrer la verse d'une céréale. On distingue trois catégories de verse : la verse radiculaire, la verse des tiges et la verse nodale (Citron, 2007)

- **L'échaudage :**

L'échaudage du grain de blé peut avoir trois origines (Hamadache, 2013) :

- **Climatiques** :(vent chaud et sec durant la phase : stade laiteux- stade pâteux) au palier hydrique ;
- **Parasitaire** : (attaque des 3 dernières feuilles et de l'épi par les— rouilles, la fusariose de l'épi,...) ;
- **Attaque des 3 dernières feuilles et du grain** en formation par la— punaise et autres insectes piqueurs-suceurs (thrips, pucerons).
- **Le mitadinage :**

Il s'agit d'un défaut de teneur en protéines du grain chez le blé dur. Le grain du blé dur prend un aspect blanchâtre comme le blé tendre alors que la couleur idéale du grain doit être jaune ambrée (Figure6). Le fractionnement des apports d'azote (en deux ou trois apports) entre le tallage et le gonflement peut limiter fortement le risque de mitadinage (Hamadache, 2013)

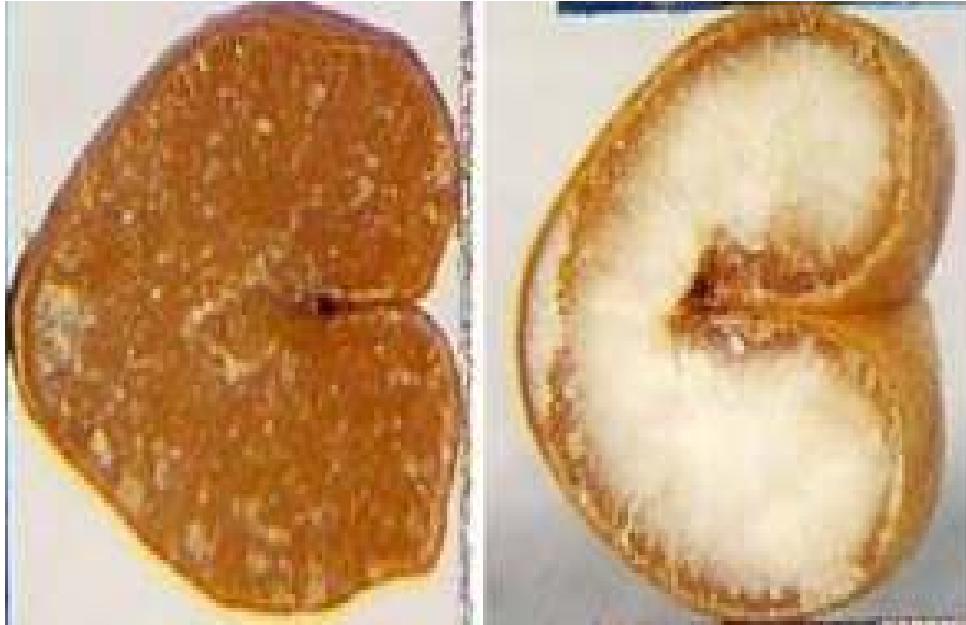


Figure 06 : Grain vitreux (à gauche) et grain mitadiné (à droite) observés au microscope optique (Baasandorj, 2015)

7. L'amélioration génétique du blé :

L'amélioration génétique a été initiée en Algérie depuis la création des premières institutions responsables du développement agricole. L'objectif principal visait l'amélioration et la stabilisation par la voie génétique de la production et de la qualité du blé dur.

L'amélioration génétique du blé dur a connue différentes étapes, définies par les contraintes, les objectifs, les acquis et par l'évolution du paquet technologique en Algérie et dans le monde.

8. Création variétale du blé :

La nature est un réservoir génétique important. Elle rassemble de très nombreuses lignées : pour le blé seulement, on en connaît aujourd'hui 100 000 environ.

La création variétale vise à fabriquer des variétés nouvelles. Le sélectionneur, pour proposer des variétés toujours plus performantes, utilise au mieux ce réservoir naturel de variabilité génétique.

Comment ? Afin de préserver la richesse du patrimoine biologique international, des

banques de gènes se sont constituées. Elles rassemblent et étudient le plus grands nombre de lignées et de populations existantes.

Mais le matériel de départ de la création variétale ne sera pas toujours une lignée ou une population existante. Le sélectionneur, pour augmenter la variabilité génétique de départ, est amené à créer de nouveaux matériels.

Pour créer de nouvelles variétés de blé, il faut d'abord provoquer des hybridations artificielles.

La création variétale comprendra plusieurs étapes :

- La création du matériel de départ :
 - Par des croisements simples ;
 - par sélection récurrente ;
 - par mutation (mutagénèse) ;
 - par transfert de gènes (génie génétique)
- La sélection créatrice :
 - par sélection généalogique ;
 - par la méthode SSD (Singalseeddescent) ;
 - par sélection massale (méthode Bulk).
- La sélection conservatrice :

Le sélectionneur peut disposer maintenant d'un outil très sophistiqué, mais exigeant en compétences et en budget qui permet d'accélérer le processus de travail : c'est l'haplodiploidisation (Maciejewski, 2013

- Face à une croissance démographique importante associée à des conditions climatiques et environnementales de plus en plus critiques (changement climatique, dégradation des sols, etc.), la création variétale doit relever plusieurs défis afin de contribuer à la sécurité alimentaire mondiale via des variétés plus performantes accompagnée des innovations adaptées. Toutefois, les résultats de la recherche restent sans effets notables si les utilisateurs finaux, principalement les agriculteurs, n'adoptent pas ces nouvelles technologies. D'où, le besoin d'adopter entre autre une approche participative pour une meilleure diffusion de ces technologies auprès des usagers.

8-1 Définition de l'approche participative et son rôle dans la création variétale :

L'approche participative dans la création variétale consiste en une relation de partenariat entre les différents acteurs de la filière agricole (sélectionneurs chercheurs, professionnels et agriculteurs) dans les prises de décision et de sélection orientées principalement selon les perceptions des utilisateurs finaux du produit et de leurs différents besoins réels. Ainsi, les agriculteurs deviennent de plus en plus impliqués dans le développement de la technologie, au lieu d'être de simples consommateurs et bénéficiaires de ces avancées.

La sélection variétale participative a pour principaux objectifs :

Faciliter la dissémination et accélérer le taux d'adoption des nouvelles variétés et innovations agricoles, surtout en prenant en considération le long processus de création variétale coûteux en termes de temps et d'espace;

- Couvrir une plus large gamme d'environnements par rapport aux programmes conventionnels en intégrant les champs des agriculteurs en tant qu'environnement de test. Ceci permet d'aboutir à des innovations variétales spécifiques pour des environnements multiples et réduire l'écart de rendement entre l'essai chez l'agriculteur et l'essai expérimental.

La participation des agriculteurs dans le programme de la création variétale pourrait avoir plusieurs formes selon les niveaux de participation :

- Participation à des journées portes ouvertes des stations expérimentales pour démontrer aux agriculteurs la marge du progrès offerte par les nouvelles technologies en comparaison avec les performances actuelles.
- Évaluation variétale participative associant les agriculteurs élites ou modèles d'une région au criblage des variétés dans les phases finales du cycle de création variétale selon leur critères de notation. Cette approche est appelée « sélection variétale participative ».
- Implication des agriculteurs dès les premières phases du programme d'amélioration en leur confiant la sélection au sein des populations en ségrégation (descendances de croisement) semées sur leurs terres. Cette approche est appelée « Gestion dynamique participative» (Bennani, 2017).

9. Importance et utilisation du blé dur :

Le grain du blé dur surtout, est la base de l'alimentation des populations rurales algériennes alors que ses chaumes et sa paille en sont la base de l'alimentation pour les animaux d'élevage.

9-1 Dans l'alimentation humaine :

La galette et le couscous sont les deux principaux plats quotidiens confectionnés à partir de la semoule du blé dur en milieu rural et/ou citadin en Algérie.

La galette associée à l'huile d'olive et aux figues sèches étaient l'aliment quotidien des populations rurales en Kabylie jusqu'à une récente période.

D'autres plats sont aussi préparés à partir de la semoule ou du grain du blé durant les occasions particulières : mariage, fêtes religieuses. Des plats sont aussi spécifiques à des régions et inconnus dans d'autres régions. C'est le cas par exemple de Chekhchoukha de Biskra, Chekhchoukha de Constantine, M'hadjeb de l'algérois, M'smen de la Kabylie, Mekrout, Rfiss, etc.

9-2 Dans l'alimentation animale :

Les chaumes, la paille du blé et le son du blé sont aussi à la base de l'alimentation des petits et des grands ruminants. Les chaumes sont ainsi utilisées durant une période de l'été, juillet-août, par les ovins et caprins. La valeur alimentaire de ces chaumes varie fortement dans le temps (Hamadache, 2001).

10. Evaluation de la qualité d'un blé dur :

10.1. Le concept de la qualité :

La qualité est une notion relativement ancienne, et le souci de la qualité n'est pas chose récente. La nécessité pour l'homme de résoudre des problèmes de plus en plus complexes, l'ouverture des marchés aux produits et aux services, la croissance extraordinaire des moyens de communication et l'avènement de la mondialisation, ont contraint l'homme à intégrer une démarche qualité au développement des produits et des services qu'il conçoit (Branger et al., 2007).

10.2. Définition de la qualité :

De nombreuses définitions ont été proposées dans le passé, afin de cerner un concept d'une telle simplicité qu'il en est parfois difficile à comprendre ! La norme ISO 9000 version 2000 définit la qualité comme « L'aptitude d'un ensemble de caractéristiques intrinsèques à satisfaire des exigences ». C'est la capacité à satisfaire au mieux, à un instant donné, au meilleur coût et pour un délai donné, les besoins des différentes entités que sont l'entreprise, les clients, les utilisateurs, les non-utilisateurs, ainsi que les salariés et les actionnaires (Branger et al., 2007).

10.3. La qualité du grain :

Lors de l'établissement des programmes d'amélioration, le rendement grain était considéré comme largement prioritaire par rapport à la qualité technologique. De nos jours, force est constatée qu'avec l'ouverture progressive du marché national, la qualité est devenue aussi importante que le rendement. Plusieurs problèmes dus aux insuffisances de la technicité de production (technique de conduite culturale, variétés, stockage) peuvent endommager la qualité des produits (Anonyme, 1996).

10.4. Notion de la qualité technologique :

La qualité d'un blé dur est en fonction de son utilisation. Les produits fabriqués sont surtout les pâtes alimentaires et le couscous (produit de deuxième transformation) et la semoule (produits de première transformation). La qualité implique donc de répondre à des critères nutritionnels, hygiéniques et organoleptiques (Trenteseaux, 1995. Benbelkacem et al., 1995).

La qualité de la matière première dépend de celle du produit fini. Ainsi, la connaissance précise des constituants du grain de blé sont responsables de sa qualité technologique, la définition de leurs déterminants génétiques et le rôle des paramètres agro-climatique constituent des clés indispensables à des agents de la filière: sélectionneurs, agriculteurs et transformateurs (Benbelkacem et Kellou, 2000).

D'anciens travaux ont montré l'importance des protéines du gluten, gliadine et glutenines aussi que certaines enzymes et lipides, dans l'aptitude des blés à être transformés en pain ou en pâtes (Abecassis et al., 1990).

La qualité technologique du blé dur englobe donc toute une série de caractéristiques qui vont du rendement en semoule jusqu'à l'aptitude à la transformation de cette semoule en pâtes (Nottin et al., 1949).

Les caractères technologiques d'un blé sont fortement liés à sa variété et sont susceptibles de fluctuation sous l'influence des conditions environnementales, ces écarts peuvent aller jusqu'à déprécier complètement le blé vis-à-vis de l'industrie.

10.5 Critères d'appréciation de la qualité chez le blé :

Afin de déterminer la qualité d'un blé dur et affirmer sa qualité, un ensemble de critères doivent être respectés en plus des analyses et tests à effectuer:

- ✓ Critères d'orientation
- ✓ Analyses physico-chimiques
- ✓ Analyses et tests technologiques

10.5.1. Critères d'orientation de blé dur :

➤ La valeur de première transformation ou valeur meunière ou semoulière :

La qualité semoulière présente le rendement en semoules d'une pureté déterminée. C'est-à-dire, le poids de semoules rapporté au poids du blé mis en œuvre (conditionnée par la teneur en protéines, elle-même liée à la vitrosité du grain, de la grosseur du grain dont le calibrage, et du taux de cendre).

En Algérie, les semoules sont classées en quatre catégories en fonction de leur grosseur :

- ✓ **Semoules grosses (SG) :** la dimension des particules est comprise entre 900 à 1100 μ m, destinées à des usages domestiques.
- ✓ **Semoules moyennes (SM) :** comprise entre 550 à 900 μ m, destinées à la fabrication de la galette, du couscous...
- ✓ **Semoules sassées super extra (SSSE) :** 190 à 550 μ m, destinées à la fabrication des pâtes alimentaires.
- ✓ **Semoule sassées super fines (SSSF) :** 140 à 190 μ m, proviennent des couches périphériques du grain.

➤ Le calibrage :

Il permet de classer la grosseur des grains en 3 fractions :

- ✓ Une fraction inférieure 2.2mm ;
- ✓ Une fraction inférieure 2.5mm ;
- ✓ Une fraction inférieure 2.8mm ;

➤ **Valeur semoulière :**

La valeur semoulière (parfois appelée valeur meunière) est l'aptitude d'un blé à donner un rendement élevé en semoules de pureté déterminée (Feillet, 2000).

La valeur semoulière d'un blé dur dépend de plusieurs paramètres (Abecassis et al., 1990) :

- Du rapport albumen/ enveloppes ;
- De la friabilité de l'albumen ;
- De la facilité de séparer l'albumen et les enveloppes.

Selon Abecassis et al., (1997), parmi les facteurs intrinsèques de la valeur semoulière, le rapport albumen sur enveloppes apparait déterminant. Il doit être aussi élevé que possible et dépend de l'épaisseur des enveloppes, de la forme du grain et du degré d'échaudage.

➤ **Valeur pastière :**

La qualité pastière des blés durs rend compte de leur aptitude à être transformés en semoules puis en pâtes alimentaires qui possèdent les caractéristiques recherchées : aspect à l'état cru, comportement durant et après la cuisson (Feillet, 2000).

10.5.2. Analyses physico-chimiques :

➤ **Teneur en eau :**

La mesure de la teneur en eau des céréales et des produits dérivés est une opération capitale qui présente trois intérêts principaux (ITCF, 2001):

- **Intérêt technologique** : pour la détermination et la conduite rationnelle des opérations de récolte, de séchage, de stockage ou de transformation industrielle ;
- **Intérêt analytique** : pour rapporter les résultats des analyses de toute nature à une base fixe (matière sèche ou teneur en eau standard).
- **Intérêt commercial et réglementaire** : Les contrats commerciaux et les normes réglementaires fixent des seuils de teneur en eau (< à 15%) à partir desquels sont appliquées des bonifications et des réfections.

➤ **Poids de mille grains :**

La masse de milles grains ou le poids de milles grains (PMG) présente deux intérêts principaux :

- Intérêt agronomique :

La taille du grain est une caractéristique essentiellement variétale, mais elle dépend également des conditions de culture. La masse de 1000 grains est une des composantes du rendement agronomique des céréales. Elle est donc un bon indicateur du mode d'élaboration du rendement et des problèmes rencontrés par la plante lors de son développement (échaudage, attaques par les maladies ou les insectes). Elle permet également aux agriculteurs de calculer les doses de semences pour répondre à un objectif de densité de semis.

- Intérêt technologique :

Elle est un des indicateurs du rendement technologique dans les industries de première transformation : rendement semouliers, meunier ou brassicole (ITCF, 2001).

Le PMG 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 floraison combiné aux températures élevées (conditions fréquentes en Algérie) entraîne une diminution du PMG par altération de la vitesse et/ou de la durée de remplissage, ce qui se traduit par l'échaudage des grains. Les différences entre les variétés sont significatives (Benbelkacem et Kellou, 2000).

➤ **Poids spécifique :**

La masse volumique dite masse à l'hectolitre et appelée communément poids spécifique (PS), est une mesure ancienne qui date de l'époque où l'on mesurait la quantité de grains au volume. Elle présente un intérêt commercial certain ; la masse volumique est toujours prise en compte dans les contrats commerciaux et dans les transactions bien que son intérêt technique soit très limité (ITCF, 2001).

➤ **Taux de mitadinage**

Le mitadinage, indique le pourcentage de grains non entièrement vitreux et présentant la moindre trace d'amande farineuse (Benbelkacem et al., 1995).

Les zones vitreuses ont une structure continue compactée, avec des granules d'amidon étroitement liés dans une matrice protéique (Figure n°06). Les zones féculentes sont moins compactées, impliquant moins de protéines que dans les zones vitreuses (Dexter et Edwards, 1998).

➤ **Taux de moucheture :**

Elles sont pénalisantes car on les retrouve dans la semoule et dans les pâtes alimentaires. La dépréciation de la valeur marchande des lots de blés durs peut être très importante avec des réfections de prix, voire des refus de lots présentant des taux de moucheture supérieurs à 5% (Samson et Desclaux, 2006).

Les grains mouchetés révèlent une décoloration distincte brun foncé ou noire du germe entier et de la région environnante (Samson et Desclaux, 2006).

Les grains mouchetés sont ceux qui ont le germe et le sillon colorés en brun-noir par des champignons (*Alternaria et Cladosporium*) apparus en milieu humide. C'est un assez grave défaut, car les pâtes risquent de présenter un mauvais aspect et d'avoir une mauvaise conservation (Loué, 1970).

➤ **Grains échaudés :**

Ce sont des grains desséchés avant maturation à la suite d'un défaut d'alimentation en eau. Celui-ci peut être dû à un déséquilibre entre l'arrivée d'eau dans le grain et l'évaporation à la suite d'une très forte chaleur, supérieur à 28°C au cours de la maturation (échaudage physiologique).

Il peut aussi être causé par toutes les maladies attaquant les racines, les feuilles, les tiges et même les glumes ; on cite en particulier le piétin, la septoriose, la fusariose, les rouilles (échaudage pathologique) (Boulala et Rouabeh, 2018).

10.5.3 Analyses technologiques :

➤ **Taux d'humidité :**

En règle générale, les céréales ne doivent pas être stockées à plus de 12% d'humidité. Les insectes et les champignons ne se développent pas bien dans les céréales ayant une teneur en eau de 12% ou moins. Pour que les semences soient entreposées pendant de longues périodes, la teneur en humidité maximale sécuritaire est d'environ 2% inférieure à l'humidité de stockage sécuritaire du grain. Le stockage à sec et à froid est

idéal ; par conséquent, un congélateur est excellent pour le stockage des semences (Glenn, 2000).

➤ **Taux de Protéines :**

Taux de protéines Dans les grains des céréales, les protides sont représentés essentiellement par les protéines. Leur teneur est relativement faible puisqu'elle varie de 8 à 18 % de la matière sèche. Godon (1991) rapporte que ces protéines sont classées d'après leur solubilité en (Figure 07)

- Albumines (2 à 10% des protéines totales) solubles dans l'eau ;
- Globulines (5 à 20%) solubles dans les solutions salines ;
- Prolamines (50 à 60%) solubles dans les solutions alcooliques ;
- Gluténines (40 à 50%) solubles dans les solutions diluées d'acides ou dans des solvants organiques (détergents) ;
- Les prolamines portent des noms différents selon l'espèce végétale (gliadines du blé, zéines de maïs, hordéines de l'orge).

➤ **Taux de cendre :**

Le taux de cendre de semoule correspond à la teneur en matière minérale après l'incinération à 900°C. Il constitue le critère réglementaire de la pureté des semoules, en effet, plus le taux de cendre est faible, plus la semoule est considéré comme pure (Abecassis, 1996).

10.5.4 Tests technologiques :

➤ **Teneur en gluten humide :**

Le dosage du gluten est très ancien et constitue un moyen simple d'appréciation de la quantité et la qualité des protéines. Ce dosage peut se faire soit manuellement soit par un appareil spécifique, le principe étant le même dans les deux cas : formation d'une pâte qui est malaxée sous un mince filet d'eau où les protéines du gluten s'hydratent, gonflent et se soudent en réseaux, tandis que l'amidon est entraîné par l'eau avec les matières solubles.

Le gluten obtenu est essoré avant d'être pesé (Boulala et Rouabeh, 2018).

L'élasticité de la pâte serait due à la capacité des liaisons(S-S) à s'allonger entre les chaînes polypeptidiques

➤ **Teneur en gluten sec :**

La teneur en gluten sec est obtenue après avoir séché la pâte (gluten humide) d'une façon qu'elle soit totalement dépourvue d'eau. La matière sèche en gluten est pesée par la suite.

11. Les protéines :

Protéine, l'un des aspects les plus importants de la qualité du blé, dépend principalement de la variété choisie et de l'apport d'azote disponible. Les conditions météorologiques et du sol ont également un impact sur la teneur en protéines.

En général, les farines de haute qualité nécessitent un taux de protéines d'au moins 11,5%.

La fertilisation sur mesure est le niveau le plus puissant pour ajuster la teneur en protéines au niveau désiré.

Les protéines forment 8 à 18% de la matière sèche du blé : elles sont inégalement réparties entre les différentes couches histologiques du grain, la teneur en protéines de l'albumen amyloacées (les futures farines) étant inférieure d'environ un point à celle du grain. Cette teneur dépend des conditions agro-climatiques de développement de la plante-notamment l'alimentation en eau (sécheresse, irrigation) et la fertilisation azotée et des variétés cultivées, c'est à leurs propriétés fonctionnelles très particulières que la farine doit son aptitude à la panification (**Figure 07**).

11.1 Classification et propriété :

11.1.1 Solubilité et classification :

Depuis les travaux d'Osborne en 1907, les protéines du blé sont classiquement réparties en quatre classes en fonction de leur solubilité : les albumines, solubles dans l'eau, et les globulines solubles dans les solutions salines neutres, souvent regroupées sous le terme de protéine solubles, d'albumines-globulines ou de protéines cytoplasmiques ou métaboliques ; les gliadines, solubles dans les alcools dilués (éthanol 70%), et les glutines, protéines résiduelles insolubles dans les solvants précédents, particulièrement solubles dans les solutions acides diluées et dans l'urée, et solubilisées en présence de détergent (SDS) et de réducteur (mercaptoéthanol). Les glutinines et les gliadines, principaux constituants du gluten, constituent les protéines de réserve dans lesquelles la jeune plantule puisera les acides aminés dont elle a besoin au moment de la germination du grain (Feillet, 2000).

11.1.2. Classification de Shewry (1986) :

Une autre classification a été proposée par Shewry en 1986, basant sur le degré de polymérisation et la teneur en acides aminés soufrés des protéines insolubles : Les gliadines forment la famille des prolamines monomériques, mélange de chaînes polypeptidiques simples de teneur variable en soufre ; les glutinines forment la famille des prolamines polymériques constituées de sous-unités de faible et de haut poids moléculaire, rassemblées au sein d'agrégats par des liaisons disulfures (s-s) le schéma de la figure ci-dessous permet de nous rapprocher cette classification de celle d'Osborne (Feillet, 2000).

➤ **Gliadines :**

Osborne a défini les gliadines en 1907 comme étant la fraction soluble dans l'éthanol à 70% des protéines de la farine, dont elles représentent 30 à 40 %, après extraction des protéines solubles dans l'eau (albumines) et des protéines solubles dans l'eau légèrement salée (globulines) ; elles sont solubles dans l'eau mais seulement à force ionique très faible. Ce sont des protéines monomériques à la différence des glutinines qui sont des protéines polymériques, associées par des liaisons hydrogène et des interactions hydrophobes. Leur poids moléculaire est compris entre 30 et 80 KDa.

La vingtaine de gliadines individualisées dans une variété de blé après séparation par électrophorèse en gel de polyacrylamide en milieu acide (PAGE) sont classées en fonction de leur mobilité en quatre classes : ω , γ , β , α -gliadines.

➤ **Glutinine :**

Les glutinines sont la fraction des protéines du blé insolubles dans l'eau, les solutions salines et l'éthanol à 70%. Elles représentent 40 à 50% des protéines totales de la farine. Légèrement plus riches en acides aminés basiques que les gliadines, elles se caractérisent comme celles-ci par leur richesse en proline et en acide glutamique. Elles constituent une famille hétérogène de polymères résultant de la polymérisation des sous-unités glutinines de hauts (SG-HPM) et faibles (SG-FPM) poids moléculaire et forment des agrégats très complexes. Leurs poids moléculaires sont compris entre quelques centaines de mille et plusieurs millions. L'aptitude de sous-unités glutinines à s'associer par des liaisons disulfures (s-s) est l'un des principaux facteurs du caractère panifiable du blé (Feillet, 2000).

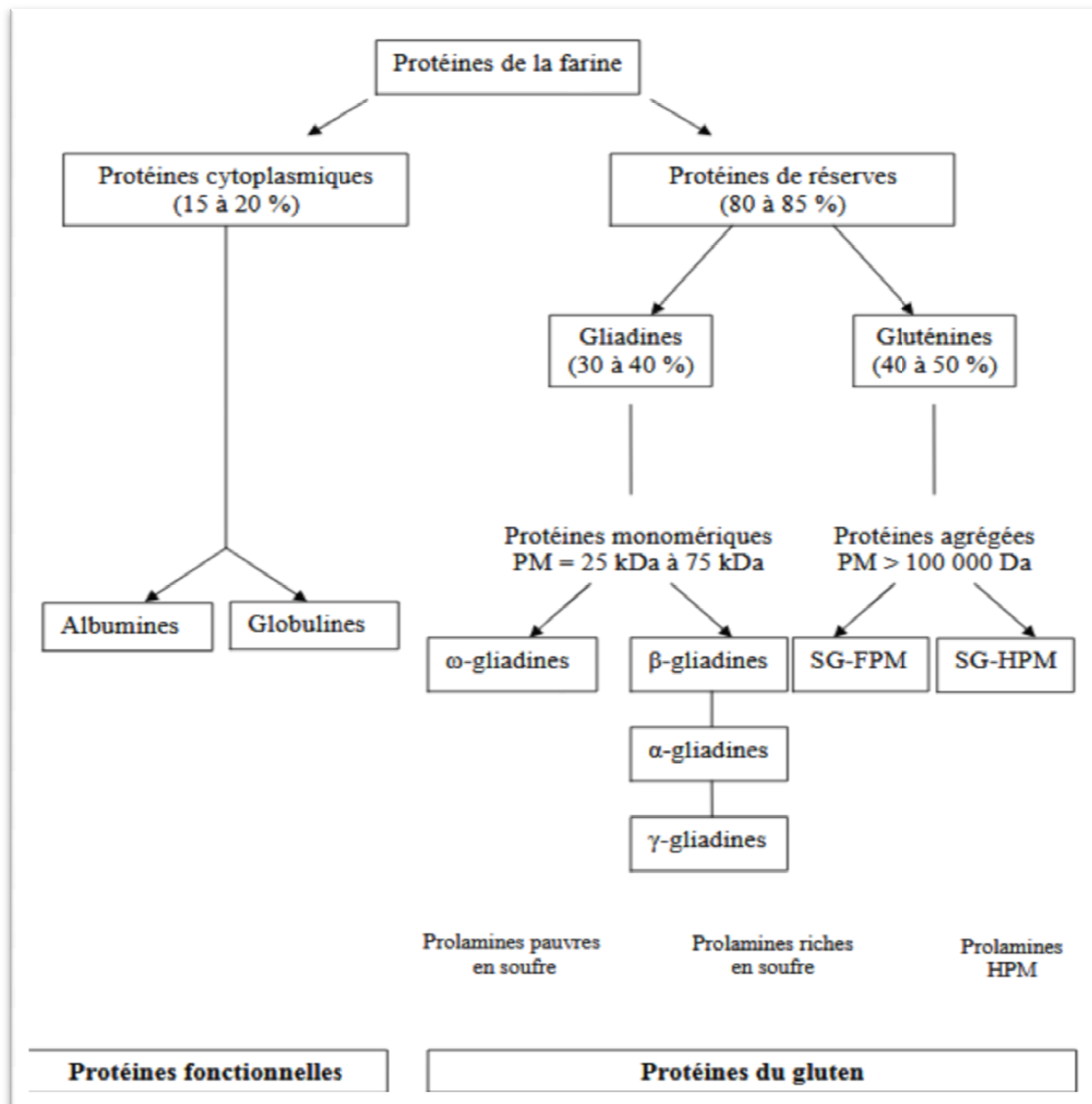


Figure 07 : Composition des protéines de la farine : rapprochement entre les classifications d'Osborne et Shewry (Feillet, 2000).

12. Le rendement en grain :

Le rendement est une mesure quantitative qui nous détermine la quantité des grains récoltés sur une surface donnée en quintal par hectare (Q/ha).

Les rendements des variétés de blé dur ont été nettement améliorés au cours de ces dernières années, mais restent encore dépendants des conditions environnementales difficiles et de la conduite technique de la culture.

Partie II : **Matériel & Méthodes**

1- Matériel végétal :

Notre matériel végétal de départ dans cette étude comprend une collection de vingt nouvelles variétés de blé dur (*Triticum durum*, Desf.) de différentes origines dont six variétés témoins d'origine locale (Waha, Cirta, Simeto, Wahbi, Ain Lahma, Beni Mestina), qui ont été cultivées dans deux environnements contrastés en Algérie : Constantine (Beni Mestina, Didouche Mourad) et Oum El Bouaghi (FP.Ghoul-Sigus) (**Tableau 03**), fournies par le programme de sélection par l'approche participative provenant d'origine du CIMMYT (Centre International Pour L'amélioration du Maïs et du Blé), de l'ICARDA (Centre International Pour La Recherche Agronomiques Dans Les Régions Sèches) et des différents autres stations de l'INRAA (Institut National de la Recherche Agronomique d'Algérie) et de l'ITGC (Institut Technique des Grandes Cultures). Ce matériel génétique est le résultat d'un long processus d'hybridation et de sélection dont on cherche toujours les caractéristiques suivantes :

- ✓ Le bon comportement agro-climatique
- ✓ Le bon rendement en grain
- ✓ La résistance aux différentes maladies

Tableau 03 : Liste des variétés de blé dur testées à Constantine et Oum el Bouaghi en 2017/2018 :

N°	Variétés ou Lignées	Origine
1	WAHA	Témoin (Algérie)
2	Sora/2*Plata_12/3/Sora/2*Plata_12//Somat_3/4Ajaia_13/ ...	Cimmyt (Mexique)
3	Bcris/Bicum//LlaretalNIA/3/Dukem_12/2*Rascon_21/4/...	Cimmyt (Mexique)
4	Somat_4/Inter_8/4/Gordin/Gutros//Dukem/3/Thknee_11/ 5/...	Cimmyt (Mexique)
5	CIRTA	Témoin (Algérie)
6	Dukem_1//Sora/2*Plata_12/3/Somat_4/Inter_8	Cimmyt (Mexique)
7	Minimus/Comb Duck_2//Cham_3/3/Rcol*2/4/Somat_4/Inter_8	Cimmyt (Mexique)
8	Silk_3/Dipper_6//Aco89*6/Dukem_4/3/Plata_7/Ilbor_1//...	Cimmyt (Mexique)
9	Sooty_9/Rascon_37//Jupare.C2001/3/Sooty_9/Rascon_37/ /...	Cimmyt (Mexique)
10	SIMETO	Témoin (Algérie)
11	Sora/2*Plata_12//Somat_3/6/Chen_1/Tez/3/Guil//Cit71/...	Cimmyt (Mexique)
12	Sooty_9/Rascon_37//Somat_3.1/3/Sooty_9/Rascon_37//...	Cimmyt (Mexique)
13	Plata_7/Ilbor_1//Somat_3/3/Sora/2*Plata_12//Srn_3/...	Cimmyt (Mexique)
14	PH89621/4/Hubei//3*Sooty_9/Rascon_37/3/Sooty_9/...	Cimmyt (Mexique)
15	WAHBI	Témoin (Algérie)
16	Adama_15//Albia_/Altar84/3/Snitán/4/Somat_4/Inter_8/...	Cimmyt (Mexique)
17	ARMENT//SRN_3/NIGRIS_4/3/CANELO_9.1/4/TOSKA_26/...	Cimmyt (Mexique)
18	SIMETO/3/Sora/2*Plata_12//SRN_3/NIGRIS_4/5/TOSKA_26 /...	Cimmyt (Mexique)
19	AIN LAHMA	Témoin (Algérie)
20	BENI MESTINA	Témoin (Algérie)

Les mesures du rendement en grain, du poids de mille grains, du taux de mitadinage et du taux de moucheture, ont été effectuées sur les produits de la récolte 2017/2018 de la station de l'ITGC d'El Khroub (altitude de 621m, un climat dit tempéré chaud de type Csa, une pluviométrie annuelle moyenne de 540mm dont les précipitations sont plus importantes en hiver qu'en été et une température moyenne de 15.6 C° ; et de la Ferme Pilote Ghoul de Sigus (altitude de 777m, un climat dit tempéré chaud y classé Csa, une pluviométrie annuelle moyenne de 493mm dont les précipitations sont plus importantes en hiver qu'en été et une température moyenne de 14.5 C°).

Les analyses de la qualité technologique sur les vingt géotypes ont été réalisées au niveau de laboratoire Biotechnologie, Biologie moléculaire et Génétique Végétale de l'Université Des Frères Mentouri Constantine -1- (UFMC -1-).

2. Caractères mesurés :

2.1 Rendement en grains :

Deux composantes déterminent le rendement du blé (exprimé en poids de grains récoltés par unité de surface) :

1. le nombre de grain par unité de surface (NG/m²),
2. le poids moyen d'un grain (P1G).

La première, NG/m², peut encore se décomposer de la façon suivante :

$$NG/m^2 = N \text{ pieds}/m^2 \times N \text{ épis/plante} \times N \text{ grains/épi.}$$

Une des raisons du succès de la culture du blé est son aptitude à la compensation des composantes du rendement : celles qui se déterminent plus tard peuvent en effet rattraper des insuffisances ou des pertes survenues plus tôt.

En particulier une densité faible de plantes à la levée peut être compensée par un tallage important.

2.2. Détermination de la masse de 1000 grains du blé dur:

C'est un critère essentiellement variétal d'un grand intérêt dans les expérimentations agronomiques ainsi que dans l'industrie :

Selon Scotti, (1997), il nous permet de caractériser une variété, de mettre en évidence des anomalies comme l'échaudage, d'étudier l'influence des traitements en végétation ou des conditions climatiques qui toutes modifient la masse de 1000 grains de façon très significative.

Cette mesure est surtout effectuée lors de la sélection du blé dur, elle nous donne des indications sur la mode d'élaboration du rendement et des problèmes pendant son développement. Pour les agriculteurs, cette analyse permettra de calculé plus précisément les doses de semences nécessaire pour répondre à un objectif de densité de semis (Landemaine, 2004).

Cependant il peut aussi permettre de vérifier si un grain a été conservé dans de bonnes conditions, en effet une baisse du poids de 1 000 grains entre la mise en cellule et la vidange d'un lot rend compte d'une perte de matière sèche, donc d'un problème de conservation.

Vue son importance : -L'arrêté du 23 février 2012 rendant obligatoire la méthode de détermination de la masse de 1000 grains dans les céréales et légumineuses (Ministère du commerce, 2012).

- **Définition :**

Masse de 1000 grains telle quel : masse de 1000 grains avec leur teneur en eau existant au moment de la détermination exprimé en gramme dont la formule :

PMG (g/ms)= P*[(100-H)] /100. Avec :

P : masse en grammes de 1000 graines entiers

H : teneur en eau des grains

- **Principe :**

Pesée d'une quantité de l'échantillon, séparation et pesée des grains entiers. Compostage des grains entiers est par règle de trois, obtention de la masse de 1000 grains selon la norme NF V03-702.

- **Mode opératoire :**

Effectuer au moins deux déterminations sur le même échantillon - Prélever au hasard une quantité de grains de blé dur et placer la dans le compteur à grain en lançant le comptage jusqu'à avoirs 1000 grains- Peser avec une balance à 0.01g près.

2.3. Détermination du taux de mitadinage :

Il s'agit d'un défaut de teneur en protéines du grain chez le blé dur. Le grain du blé dur prend un aspect blanchâtre comme le blé tendre alors que la couleur idéale du grain doit être jaune ambrée. Le fractionnement des apports d'azote (en deux ou trois apports) entre le tallage et le gonflement peut limiter fortement le risque de mitadinage (Hamadache, 2013).

Le mitadinage peut être provoqué, soit par une teneur en protéine des grains insuffisant, soit par des pluies peu avant la récolte (Bar, 1995).

Selon Bar (1995) toute valeur entre 20% et 40% est acceptable, mais d'après Selselt (1991) pour considérer un blé comme blé de bonne qualité ne doit pas dépasser les 5%.

- **Définition :**

Accident physiologique du blé dur intervenant au cours de sa maturation, qui se traduit par des anomalies de la texture et de la couleur des grains. Le mitadinage affecte la valeur des grains au regard de la fabrication de semoule (Raynal, 2002).

C'est une anomalie constatée sur les grains de blé dur qui devient farineux par une modification de la structure de l'albumen provoqué par un manque d'azote au stade gonflement.

- **Mode opératoire :**

- Effectuer trois déterminations pour le même échantillon (des répétitions)

- Prélever au hasard une quantité de grains de blé dur en comptant manuellement 300 grains

- Sur un support, on place les grains et qu'ils soient tous visibles et faciles à sélectionner à l'œil nu

- Sélectionner tous les grains mitadinés en déterminant leur nombre

- Déterminer le taux de mitadinage en appliquant la règle de trois dont la formule est la suivante :

$$M\% = \frac{\Sigma GM}{300} \times 100$$

Avec GM : nombre de grain mitadiné

2.4 Détermination du taux de moucheture:

La moucheture du blé dur, caractérisée par des tâches brunes à noires sur le grain de blé à maturité, contribue à déprécier l'aspect des pâtes alimentaires. La moucheture du blé dur se caractérise, sur les grains mûrs, par des plages de coloration brune ou noire en d'autres endroits que sur le germe (réglementation CEE 824/2000). Elles sont pénalisantes car on les retrouve dans la semoule et dans les pâtes alimentaires. La dépréciation de la valeur marchande des lots de blés durs peut être très importante avec des réactions de prix, voire des refus de lots présentant des taux de moucheture supérieurs à 5% (Samson et Desclaux, 2006).

Les grains mouchetés sont ceux qui ont le germe et le sillon colorés en brun-noir par des champignons (*Alternaria* et *Cladosporium*) apparus en milieu humide.

C'est un assez grave défaut, car les pâtes risquent de présenter un mauvais aspect et d'avoir une mauvaise conservation (Loué, 1970).

• **Définition :**

La moucheture du blé dur, caractérisée par des taches brunes à noires sur le grain de blé à maturité, contribue à déprécier l'aspect des pâtes alimentaires (Samson et Desclaux, 2006). Elle résulte de l'oxydation par l'air de polyphénols. La moucheture semble être favorisée par une humidité élevée entre la floraison et le stade grain laiteux (Hamadache, 2013).

• **Principe :**

Déterminer le taux de moucheture dans une variété en déterminant le nombre des grains de blé dur mouchetés dans un lot de 20g dont le germe et/ou le sillon colorés en brun-noir.

• **Mode opératoire :**

- Effectuer trois déterminations pour le même échantillon (des répétitions)
- Prélever au hasard une quantité de grains de blé dur
- Avec une balance de précision à 0.01g, peser une quantité de 20g
- Sur un support, on place les grains et qu'ils soient tous visibles et faciles à sélectionner à l'œil nu.

- Sélectionner avec une pince ou avec les doigts tous les grains mouchetés on déterminant leur nombre

- Les résultats sont la moyenne de 03 répétitions et sont exprimés en pourcentage, selon la formule : $M(\%) = M1/M1 * 100$

Avec :

M1 : masse en gramme de grain entier moucheté présent dans 20g de l'échantillon.

M2 : masse en gramme de prélèvement 20g.

2.5. Teneur en gluten Humide/ Sec :

Il donne une indication globale sur la qualité et la quantité des protéines. Le gluten humide d'une farine de blé est la substance plasto-élastique composée principalement de gliadine et de gluténine.

- **Définition :**

Le gluten est la fraction protéique visco-élastique obtenue en pétrissant la farine sous un courant d'eau. Le gluten résulte d'une association entre les protéines de réserve insolubles des grains de céréale et d'autres constituants. Formé lors du pétrissage, le réseau de gluten emprisonne les bulles de gaz (CO₂ issu de la dégradation des glucides par les levures) si les protéines qui le constituent sont assez élastiques. Le pain lève grâce à cette élasticité. Le gonflage de la pâte est possible avec la farine de blé, moins avec celle de seigle, et ne peut être obtenu avec la farine de maïs ou d'orge (Larousse agricole, 2002).

- **Principe :**

- **Gluten humide :**

Extraction du gluten de la semoule de blé dur avec un solvant d'une solution saline de NaCl (25%) et détermination de sa masse humide, l'isolement du gluten humide se fait manuellement par lixiviation sous l'eau.

- **Gluten sec :**

Le produit dégagé du gluten humide est mise a séché dans une étuve à 102°C pendant 24h puis pesé à l'aide d'une balance de précision.

- **Mode opératoire :**

-Broyer les grains de blé dur à l'aide d'un broyeur électrique jusqu'à avoir une semoule d'une texture homogène.

-Tamier la semoule manuellement à l'aide d'un tamis pour avoir la farine du blé

-Prélever une quantité de semoule à l'aide d'une cuillère

-Sur un verre de montre, peser 10g de semoule pour chaque échantillon à l'aide d'une balance de précision.

- Mettre la semoule dans un mortier spécifique en versant 5ml de solution NaCl (25%) et mélanger bien jusqu'à avoir une pâte solide
- Laisser la pâte se reposer pour quelques minutes
- Rajouter un volume d'eau sur la pâte en mélangeant jusqu'à avoir un liquide homogène.
- Verser le liquide obtenu dans un tamis sous un courant d'eau en agitant à l'aide d'une spatule pour faire réunir les particules du gluten ensemble.
- Malaxer toujours sous un courant d'eau jusqu'à avoir un pàton blanc de gluten
- Peser la masse du gluten humide à l'aide d'une balance de précision (sur un support du papier aluminium)
- Placer l'échantillon dans une étuve à 102°C pendant 24h
- Peser la masse du gluten sec obtenu après séchage

***Préparation de solution NaCl (25%) :**

-Peser une quantité de 25g de sel de table pour chaque volume de 100ml d'eau distillée

Avec :

$$C_1 \cdot V_1 = C_2 \cdot V_2$$

-Les mettre dans un Bécher en agitant pour faire dissoudre le sel.

La masse plastique issue représente le gluten humide et calculée suivant l'équation :

GH (%) = M * 100 / 10

Avec :

GH : gluten humide et

M : la masse en gramme de gluten humide, il est exprimé en pourcentage.

3. Analyses biochimique :

3.1. Détermination du taux de protéines et d'humidité des grains par spectroscopie proche infrarouge (NIRS) :

La spectrométrie dans le proche infrarouge est une technique analytique de plus en plus répandue, pour le contrôle rapide de la qualité des céréales. Le plus souvent non destructive, elle ne nécessite qu'une préparation réduite de l'échantillon. En outre, elle permet la détermination rapide et non coûteuse de plusieurs paramètres.

Cette analyse permet de mesurer par infrarouge les paramètres suivants de la semoule : le taux des protéines et l'humidité.

3.1.1. Taux de protéines :

La teneur en protéines de blé dur est un critère très important qui influe fortement sur la qualité du blé dur compte tenu de ses relations étroites avec le taux de grains mitadinés et avec la qualité culinaire des produits de transformation. La teneur minimale pour la mise à l'intervention est de 11.5%. En règle générale, plus la teneur en protéines est élevée, meilleure est la qualité du blé dur. Un seuil de 14% est le plus souvent nécessaire à l'obtention d'un taux de vitrosité satisfaisant.

3.1.2. Taux d'humidité des grains :

Le taux d'humidité est un critère assez important qui nous indique le mode de conservation des grains.

Le problème de la conservation du blé est très délicat. Pour éviter que les récoltes ne puissent ou que se forment des moisissures pendant le stockage, il faut attendre pour moissonner, que les grains soient parfaitement mûrs et secs.

Le taux d'humidité ne devrait pas dépasser les 14 à 15% du poids du grain. La plus grosse partie de la récolte est recueillie dès la moisson par des organismes stockeurs qui disposent de silos de grande capacité.

3.1.3. Principe de la technique NIRS :

Le principe de l'analyse par infrarouge repose sur l'absorption différentielle de la lumière dans le proche infrarouge (PIR) par la matière organique. Chaque liaison chimique, selon sa nature, oscille. Elle passe ainsi d'un état de base à un état d'excité lorsqu'elle absorbe l'énergie d'une source infrarouge dont la fréquence est égale à la fréquence de vibration de la liaison. Un spectromètre permet de mesurer ces variations. L'analyse infrarouge est idéale pour détecter la présence de groupements fonctionnels. On identifie des longueurs d'onde d'intérêt, c'est-à-dire des zones du spectre, l'on enregistrera une vibration qu'il sera ensuite possible de relier à une concentration de la molécule. Le spectre d'absorption est complexe et chaque liaison chimique comporte plusieurs bandes. Dans le PIR, elles sont appelées harmoniques. Le PIR comporte les zones spectrales entre 800 et 2 500 nm. Il correspond aux longueurs d'onde comprises entre le visible et l'infrarouge moyen. Selon le critère retenu et les caractéristiques (radicaux simples, chaînes hydrocarbonées, fonction azotée, simple liaison ou double liaison dans la molécule), différentes zones du spectre seront concernées. La force de liaison par exemple au sein d'une molécule va croissante au fur et à mesure que l'on passe de simples liaisons à des doubles ou à des triples (Merrien et al., 2010).

3.1.4 Mode opératoire :

Le type de produit à analyser est sélectionné dans l'appareil (blé dur). L'échantillon est par la suite placé dans le compartiment approprié, en utilisant le dispositif de tassement. Pour lancer l'analyse, la touche ENTER est appuyée. Les résultats sont exprimés en pourcentage (%) de protéines et d'humidité des grains par rapport à la matière sèche, ils représentent la moyenne de trois répétitions.

3.2 Extraction et électrophorèse SDS-PAGE des Protéines totales:

3.2.1 L'électrophorèse :

- **Définition et Principe :**

L'électrophorèse est une méthode de séparation des molécules sous l'effet d'un courant électrique dans un support solide et poreux, le plus fréquemment un gel.

Inventée par A. Tiselius pour les protéines dans des gels d'amidon (en 1933, Prix Nobel en 1948) cette technique est utilisée en routine pour l'analyse des protéines et des acides nucléiques.

3.2.2 L'électrophorèse de protéines (SDS-PAGE) :

L'électrophorèse de routine pour les protéines est l'électrophorèse sur gel de polyacrylamide en présence de SDS, ou SDS-PAGE, mise au point à la fin des années 1960. Les protéines ont une charge nette dépendant de leur structure primaire mais le SDS est un détergent an ionique qui déplie les structures II et III des protéines et leur transfère une charge proportionnelle à leur taille.

Les protéines dénaturées dans le SDS migrent donc en fonction de leur taille dans le champ électrique. L'analyse par SDS-PAGE d'un échantillon permet de déterminer le nombre et la masse des polypeptides présents.

Les gels de polyacrylamide sont le résultat de la polymérisation de monomères d'acrylamide (C_3H_5NO) en longues chaînes reliées par le bis-acrylamide ($C_7H_9N_2O_2$). L'acrylamide et le bis-acrylamide, ensemble, forment des pores à travers lesquels les différentes protéines vont migrer selon leur taille moléculaire.

Le rôle du sodium dodecyl sulfate (SDS) est déneutraliser la charge des protéines pour leur permettre de migrer selon leur poids moléculaire seulement. La polymérisation est initiée en ajoutant du persulfate d'ammonium (APS) et du N,N,N',N' -tetramethylethylenediamine (TEMED), ce dernier jouant le rôle de catalyseur lors de la formation des radicaux libres du persulfate (Amallah, 2017).

L'électrophorèse en gel de polyacrylamide en présence de SDS (SDS-PAGE) sert à vérifier la pureté d'une protéine et à en mesurer le poids moléculaire. Les complexes SDS-polypeptides ont des densités de charge égales et par conséquent, la migration dans le gel de polyacrylamide ne dépend plus que de la taille du polypeptide. On pourra donc déterminer les masses des polypeptides de l'échantillon en comparant leur mobilité avec celle des polypeptides de poids moléculaires connus sous les mêmes conditions d'électrophorèse.

La taille des pores (de quelques nm à plusieurs centaines de nm) est donc directement influencée par la concentration en acrylamide: plus la concentration augmente, plus la taille de ces pores diminue (Amallah, 2017).

• **Mode opératoire :**

- Broyer 100mg de matériel végétal à l'aide d'un mortier et un pilon.
- Transférer 200 μ l de la poudre dans un tube eppendorf de 2ml.
- Ajouter **1.8ml de la solution de précipitation.**
- Homogénéiser en vortexant le tube.
- Laisser précipiter à -20°C toute la nuit. (minimum 12 heures).
- Centrifuger 20 min à 12700g (12.7pm) à 4°C.
- Eliminer le surnageant délicatement en renversant le tube (le tube ne doit pas décoller).
- Rincer le culot avec **1.8ml de la solution de rinçage.**
(La solution de rinçage permet d'éliminer les résidus de TCA)
- Placer 1 heure minimum à -20°C.
- Centrifuger 20 min à 10000g à 4°C.
- Eliminer le surnageant.
- Sécher le culot pendant 2min dans un Speed Vac.
- Resuspendre le culot dans 100 à 200 μ l de tampon bleu de laemmli.
- Homogénéiser en vortexant le tube.
- Incuber les échantillons 5min à 95°C.
- Centrifuger 15 min à 13000 TA.
- Récupérer le surnageant dans un nouveau tube eppendorf de 1.5ml.
- Centrifuger 10 min à 10000g TA.
- Conserver les échantillons à -80°C.
- Centrifugation 15 min à 13000g
- Préparation du gel de migration
- Dépôt de gel dans les cuves d'électrophorèse
- Dépôt des échantillons
- Ajouter le tampon d'électrophorèse et lancer la migration à 140 V pendant 1h.

3.2.3 Préparation des gels, dépôt des échantillons et migration :

- **Principe :**

La méthode de Laemmli, (1970) consiste à utiliser deux gels superposés de concentrations et de pH différents (**Tableau 05**). Le gel supérieur (T = 4 %, pH = 6,8), appelé gel de concentration, permet de concentrer la solution de protéines en une fine bande tandis que le gel inférieur (T = 12 %, pH = 8,8) est le gel permettant de séparer les différentes protéines appelé gel de séparation.

- Le tampon d'entraînement est composé de Tris-HCl, de SDS et de Glycine (**Annexe2**).

Tableau 04: Composition du gel de séparation et du gel de concentration.

	Gel de Séparation	Gel de Concentration
produits	4%	12%
Acry Bis 40%	1 ml	9 ml
H2O	6.35 ml	13 ml
1.5M tris HCL pH8.8	/	7.5ml
0.5 M tris HCL pH6.8	2.5 ml	/
10% SDS	100µl	300µl
10% APS	50 µl	150µl
TEMED	10µl	30µl
VOLUME FINAL	10.01 ml	29.98 ml

Le système d'électrophorèse est constitué de deux plaques : une plaque 'réservoir' portant la cuve d'électrophorèse et une plaque gel portant le gel d'acrylamide. Les deux plaques doivent préalablement être nettoyées ; le système de coulage est monté selon la notice du fournisseur (Biorad).

Les plaques sont assemblées en plaçant un *spacer* de chaque côté et fixé à l'aide du pince.

- **Dépôt des échantillons et migration dans le gel :**

Le dépôt se fait en respectant les étapes suivantes :

-dépôt de 20µl de chaque échantillon par puits à l'aide d'une micro-seringue tout en respectant l'endroit du dépôt de marqueur de taille (après chaque dépôt faire rincer la micro-seringue avec le tampon de migration).

- remplissage de la cuve d'électrophorèse avec un volume suffisant de tampon de migration (**Annexe 02**).

- remplissage du bac supérieur situé entre les deux plaques (bien serré contre les joints pour éviter les fuites) avec le même tampon jusqu'à ce que les faces supérieures des gels soient immergées. Ce dernier est placé dans la cuve d'électrophorèse pour que les faces inférieures des gels plongent dans le tampon.

- fermeture des électrodes de la cuve puis relié au générateur qui va assurer le passage du courant électrique. La migration est menée à une intensité constante de 140 V.

- une fois la migration terminée, il faut attendre jusqu'à ce que le front de BBP (bleu de bromophénol) atteigne le bord inférieur des plaques (Approximativement 1-2h)

La migration se fait de la petite molécule de polypeptide à la grande molécule, et le poids moléculaire est exprimé en KDa.

3.2.4 Révélation des protéines après l'électrophorèse :

Après l'électrophorèse, les protéines ne sont pas visibles. La coloration la plus courante et la plus rapide est celle de bleu de Coomassie mais la coloration au nitrate d'argent est cent fois plus sensible (moins de 1ng est détectable) (Daniel Boujard et al., 2012).

Après la sortie du front de migration, la migration est arrêtée. Les gels sont démoulés et récupérés dans des bacs en plastique puis recouverts avec une solution décoloration est constituée d'un fixateur des protéines, le TCA (acide trichloracétique) à 60% et d'un colorant, le bleu de Coomassie R250 (**Annexe 03**) pendant toute une nuit à température ambiante sous agitation constante.

Les gels sont ensuite décolorés par plusieurs rinçages à l'eau distillée dans un mélange de méthanol et d'acide acétique (solution de décoloration) qui doivent être maintenus en agitation pour éviter le dépôt du colorant.

L'un des puits du gel est consacré au marqueur de poids moléculaire (Laemmli, 1970).

3.2.5 Traitement des résultats d'électrophorèse :

Les gels d'électrophorèse obtenus ont été photographiés par un système d'imagerie « Vilbert Lourmat™ Système complet d'imagerie Ebox™ VX2 » au niveau de laboratoire de Biotechnologie, Biologie moléculaire et Génétique Végétale de l'Université Des Frères Mentouri Constantine -1- (UFMC -1-).

Son analyse est réalisée à l'aide du logiciel spécifique qui permet une bonne visualisation et une distinction des bandes ainsi que le calcul de leur poids moléculaires en fonction du marqueur de taille.

La présence des bandes est notée par « 1 » et leur absence par « 0 ».

Afin de pouvoir caractériser les liens de parenté qui existent entre les génotypes de la variété étudiée, un dendrogramme a été élaboré à l'aide d'un logiciel statistique 'Minitab18'.

3.2.6 Test statistique : Analyse de variance « ANOVA » :

Une analyse statistique de la variance « ANOVA » a été conduite sur les 20 variétés afin de comparer les moyennes des différents variables étudiés (caractères mesurés) : PGM, taux de mouchetures, mitadinage, humidité, protéines, gluten humide et gluten sec pour les deux sites d'étude (Benin Mestina et Sigus).

Les calculs ont été faits manuellement pour la même année (2017/2018) : comparaison entre sites pour chacune des variétés et pour chaque variable.

Les résultats sont montrés dans les tableaux (**Annexe 05**).



**Partie III :
Résultats &
Discussion**

1. Caractères mesurés :

1.1 Rendement en grain:

La comparaison inter et intra génotypique du matériel végétal étudié montre des différences significatives pour le rendement en grains au niveau des deux sites d'étude (Tableau en Annexe 01).

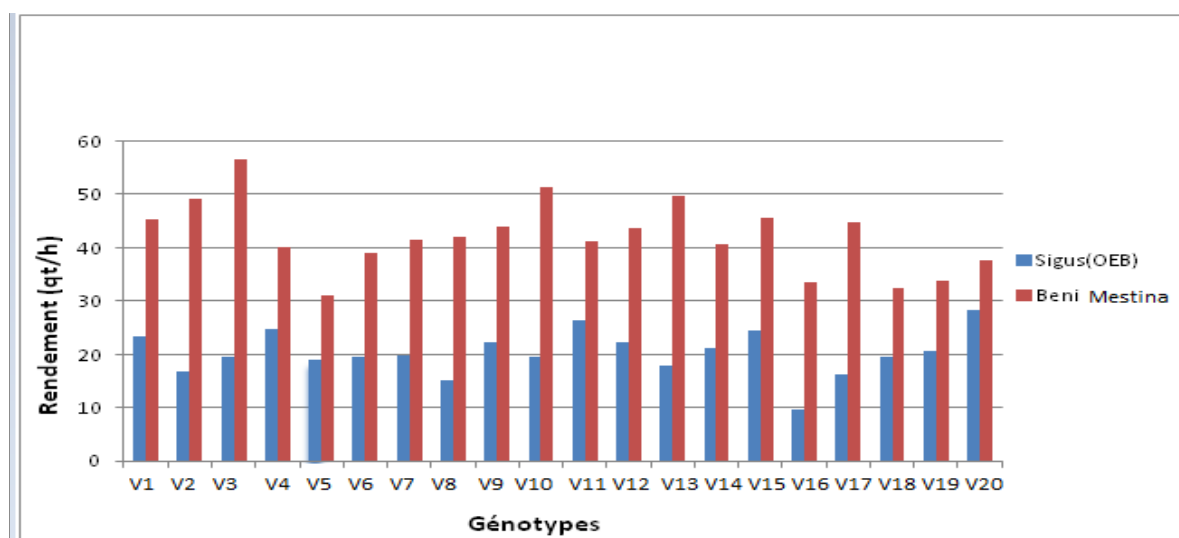


Figure 08: La variabilité des valeurs du rendement en grains pour les deux environnements (Beni Mestina et Sigus) pour la campagne 2017/2018

Globalement la moyenne du rendement en grain entre les géotypes est de 31.24 qt/ha, elle a été de 42.15qt/ha à Constantine –Beni Mestina- zone potentiel de production des plaines intérieures orientales d’Algérie mais seulement de 20.34qt/ha à Sigus (Oum El Bouaghi) région particulièrement semi aride.

Les géotypes les plus performants à Beni Mestina sont : V₃ (56.7qt/ha), la variété témoin Simeto (51.3qt/h) et V₁₃ (49.7qt/ha) ; par contre, les géotypes les plus performants à Sigus sont : la variété témoin Beni Mestina (28.43qt/ha), V₁₁ (26.38 qt/ha) et V₄ (24.76 qt/ha).

Les géotypes les plus performants à Beni Mestina sont : V₃ (56.7qt/ha), la variété témoin Simeto (51.3qt/h) et V₁₃ (49.7qt/ha) ; par contre, les géotypes les plus performants à Sigus sont : la variété témoin Beni Mestina (28.43qt/ha), V₁₁ (26.38 qt/ha) et V₄ (24.76 qt/ha).

Les géotypes les moins performants à Beni mestina sont : La variété témoin CIRTA (31qt/ha), V₁₈ (32.5qt/ha) et V₁₆ (33.5 qt/ha).

Les moins performants à Sigus ont été : V₈ (15.15qt/ha); V₁₇ (16.17 qt/ha); et V₂ (16.72 qt/ha) soit des rendements pas du tout encourageants.

L'environnement joue un rôle majeur dans l'expression des géotypes et qui reflète son effet sur le rendement en grain. On peut dire alors que la variabilité des rendements est du à des interactions Génotype x Environnement.

1.2 Poids de mille grains :

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 combiné 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).

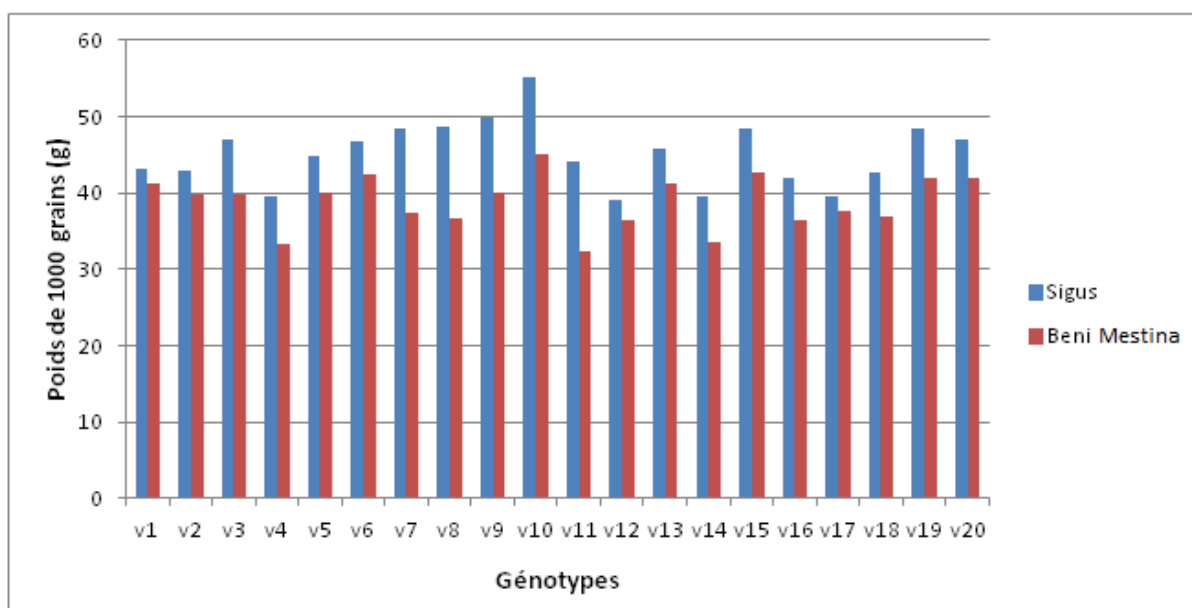


Figure 09: Valeurs du PMG pour les deux environnements (Beni Mestina et Sigus) pour la campagne 2017/2018

Les résultats obtenus (**Figure 09**) montrent des différences intra et inter géotypiques plus au moins importantes. La moyenne générale du PMG entre les deux environnements est de (41.91g) avec une moyenne de (45.13g) enregistrée à Sigus (< 41.91g) et (38.7g)

enregistrée pour Beni Mestina. Les variétés ont un poids de mille grains compris entre (32.0g) enregistré pour V₁₁ (Beni Mestina) et (55.17g) enregistré pour la variété V₁₀ (Sigus). Une différence importante et remarquable pour ce critère mesuré.

En effet l'analyse de la variance (**Tableau 01 et 02 en Annexes 05**), montre que les différences entre les deux environnements et entre les génotypes sont très hautement significatives pour ce caractère à Sigus mais non significative au nord de Constantine.

1.3 Le taux de mitadinage :

Le mitadinage est très lié à la nutrition azotée tardive (pré- et post-floraison) et à la composition protéique des grains qui en résulte. L'apport d'azote fractionné avec un apport tardif (floraison) améliore la teneur en protéines et diminue de façon significative le mitadinage (Samson et al., 2004).

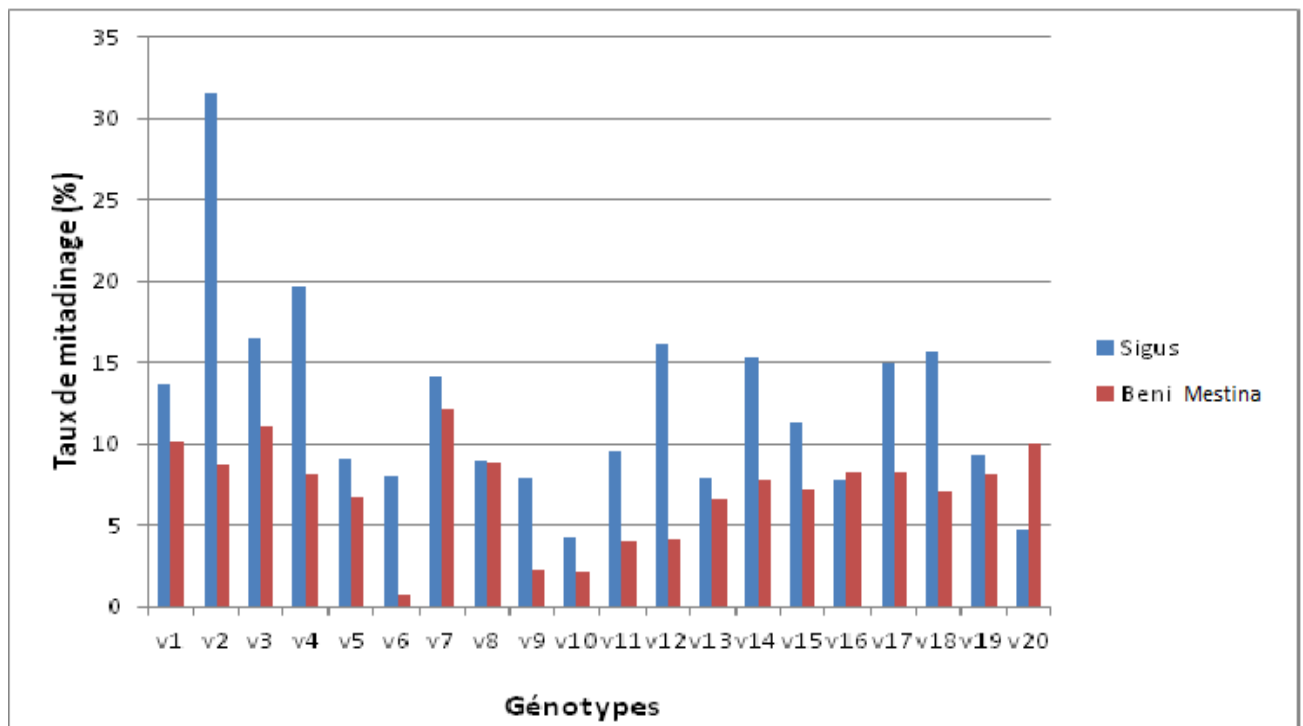


Figure 10: Taux de mitadinage des différentes variétés au niveau des 2 sites d'étude (Beni Mestina et Sigus) lors de la campagne 2017/2018

La distribution est très variable pour le taux de mitadinage, le taux le plus bas pour les deux environnements est représenté par la lignée V₆ (à Beni Mestina) avec un taux moyen de (2.6%) suivie de V₁₀ (6.33%) et V₉ (6.66%) dont la différence est hautement significative.

La distribution est très variable pour le taux de mitadinage, le taux le plus bas pour les deux environnements est représenté par la lignée V6 (à Beni Mestina) avec un taux moyen de (2.6%) suivie de V₁₀ (6.33%) et V₉ (6.66%) dont la différence est hautement significative.

Par contre pour les taux les plus élevés sont ceux de V₂ avec un taux de (94.66%) enregistrée pour (Sigus) suivi par V₄ (59%) et V₃ (49.33%) enregistrées pour le même environnement.

Les résultats de l'ANOVA (**Tableau 03 et 04 en Annexes 05**), ne font que confirmer les observations faites précédemment. Il existe des différences très hautement significatives pour le taux de mitadinage entre les 20 géotypes de blé dur sur les deux environnements. C'est à dire que les variétés ne sont pas mitadinées de la même façon et la majorité des variétés ne présente pas de stabilité pour ce critère.

Etant donné que le mitadinage est un accident physiologique, qui dépend du milieu, les différences qui peuvent exister entre les variétés seront grandes et dépendante des conditions environnementales comme pour le poids de mille grains.

1.4 Taux de moucheture :

Les grains mouchetés sont ceux qui ont le germe et le sillon colorés en brun-noir par des champignons (*Alternaria* et *Cladosporium*) apparus en milieu humide. C'est un assez grave défaut, car les pâtes risquent de présenter un mauvais aspect et d'avoir une mauvaise conservation (Loué, 1970).

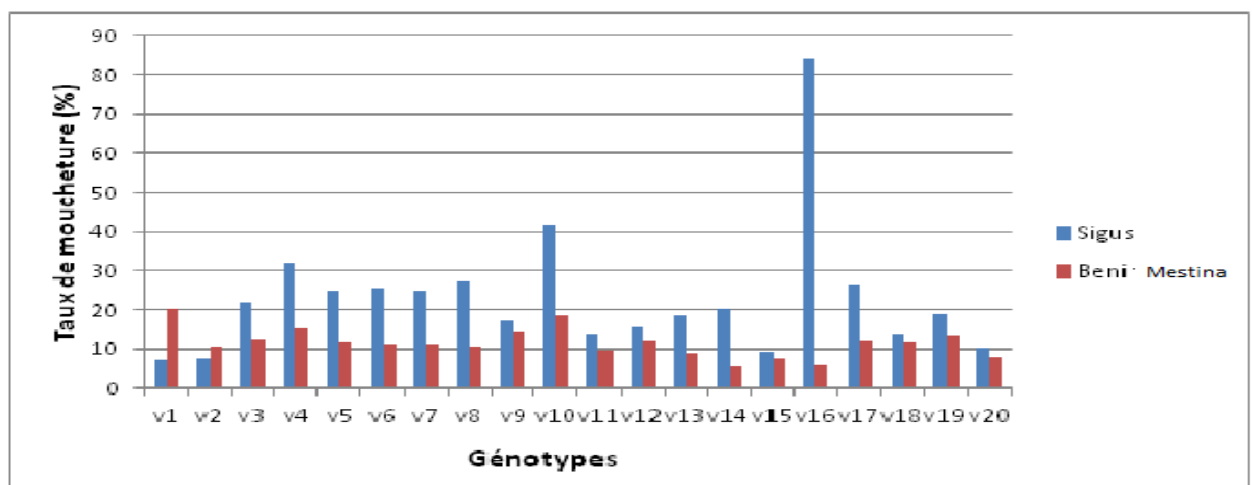


Figure 11: La variabilité des valeurs de moucheture pour les deux environnements (Beni Mestina et Sigus) pour la campagne 2017/2018

La distribution est très variables entre les deux environnements et entre les génotypes testés pour le taux de moucheture (sur le plan intra et inter génotypique) (**Figure 11**).

La moyenne du taux de moucheture pour ce caractère entre les deux environnements est de (17.3%) avec un taux moyen de (23.04%) enregistré pour (Sigus) (>17.3%) et (11.56%) enregistré pour (Beni Mestina) (< 17.3%).

Le taux le plus bas pour les deux environnements est représenté par la variété V_{14} : cultivée à Beni Mestina avec un taux moyen de (5.81%) suivi de V_{16} avec un taux moyen de (6.21%) et V_{15} (WAHBI) qui est une variété témoin avec un taux moyen de (7.55%) cultivées dans le même environnement et sous les mêmes conditions.

Par contre, il est à noter que les taux de moucheture les plus élevés sont enregistrés pour les variétés V_{16} avec un taux moyen de (84.42%), V_{10} (Simito) qui une variété témoin, avec un taux moyen de (41.66%) et V_4 avec un taux moyen de (31.84%) cultivées dans le même environnement (Sigus) et sous les mêmes conditions.

Les résultats de l'ANOVA (**Tableau 05 et 06 en Annexes 05**) confirment ces observations. Il existe des différences très hautement significatives pour ce caractère entre les 20 génotypes de blé dur. L'effet de l'environnement est très remarquable.

Les taux élevés en mitadinage et de mouchetures sont des problèmes liés aux zones traditionnelles de culture de blé dur montrant des réactions très importantes, la moucheture est provoquée par des contraintes biotiques et abiotiques (Température, pluviométrie, sol, attaques parasitaires....etc)

1.5 Teneur en gluten Humide/Sec :

Le gluten, un complexe viscoélastique qui rassemble les protéines intervenant dans le processus de panification, est responsable des propriétés rhéologiques de la pâte.

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 (El Hadeef El Okki, 2015).

➤ **Gluten Humide (GH) :**

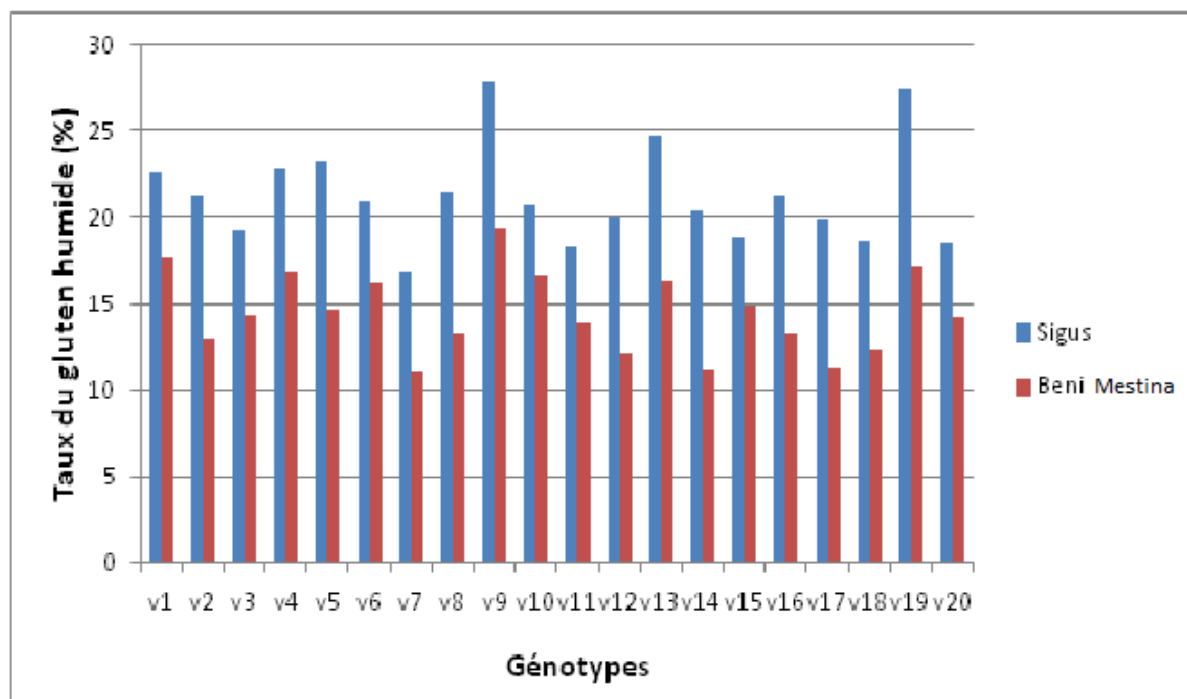


Figure12: Variabilité au sein des valeurs du taux du gluten humide pour les deux environnements (Beni Mestina et Sigus) pour la campagne 2017/2018

La distribution de l’histogramme pour le taux du gluten humide est variable globalement sur le plan inter-génotypique et n’on pas sur le plan intra-génotypique l’interaction du génotype et plus forte que celle de l’environnement.

Le taux moyen du gluten humide entre les deux environnements est de 7.14% dont le taux moyen pour ce caractère est de 5.76% pour les génotypes cultivés à Beni Mestina et de 8.53% pour les génotypes cultivés à Sigus.

La variation en taux du gluten humide est comprise entre (11%) enregistrée pour la variété V₇ cultivé à Beni Mestina et 27.76% la valeur la plus élevée enregistrée pour la variété V₉ cultivée à Sigus.

Il est à noter que ces deux variétés ont enregistrées les plus basses et les plus hautes valeurs en taux du gluten humide pour les deux environnements concernés par cette étude.

L'analyse de la variance du taux de gluten humide et sec (**Tableau 07 et 08 en Annexes 05**) a montré un effet significatif à hautement significatif pour le facteur génotype. Ce qui explique la variabilité des taux du gluten humide enregistré pour l'ensemble des génotypes.

Matweef (1966) classe les blés selon leur pourcentage en gluten dont :

- * le blé qui contient un pourcentage inférieur à 11% est blé insuffisant.
- * un pourcentage compris entre 11%-15% donne un blé de bonne valeur pastière.
- * un blé supérieur à 15% est un blé de force.

Parmi nos génotypes cultivés à Beni Mestina, quatorze d'entre eux ont une bonne valeur pastière V : 7, 14, 17, 12, 18, 2, 8, 16, 11, 20, 3, 5 et 15, avec un pourcentage de : 11%, 11.13%, 11.3%, 12.1%, 12.36%, 12.96%, 13.16%, 13.26%, 13.83%, 14.3%, 14.36%, 14.63%, et 14.86% respectivement.

Par contre aucun génotype parmi les 20 cultivés à Sigus n'a une bonne valeur pastière (>15%), ce sont des blés de force.

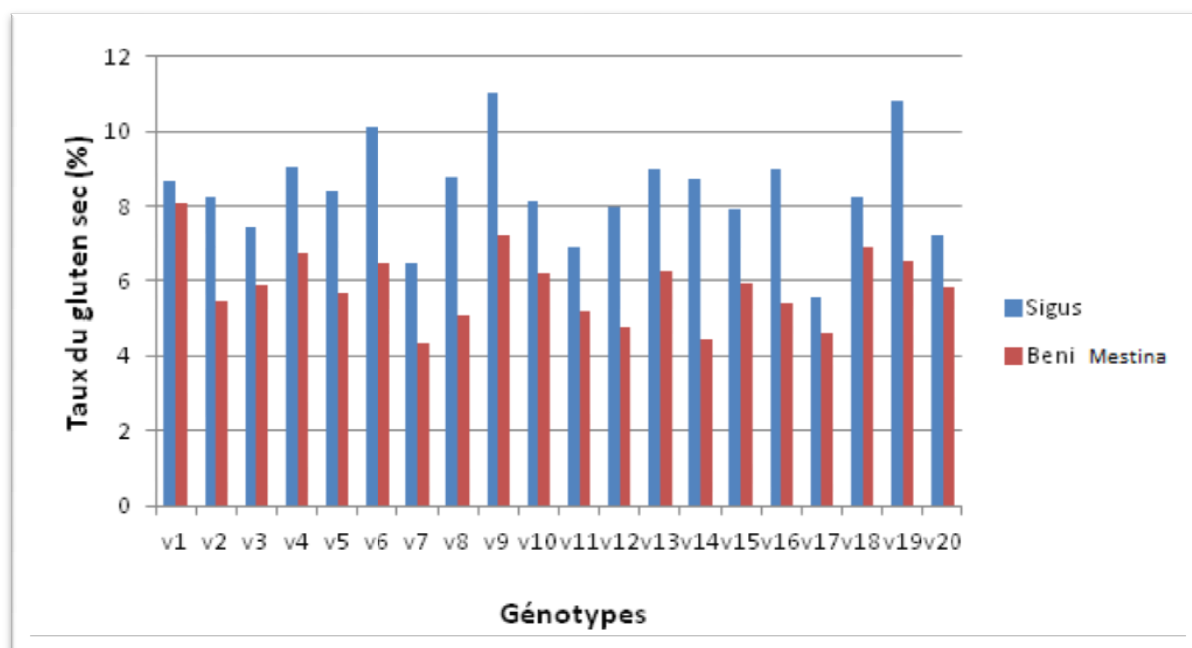


Figure 13 : La variabilité des valeurs du taux du gluten sec pour les deux environnements (Beni Mestina et Sigus) pour la campagne 2017/2018

➤ **Gluten Sec (GS) :**

On remarque que la distribution des histogrammes du gluten sec (**Figures 12 et 13**) ainsi que l'analyse de la variance est globalement la même que celle du gluten humide (**Tableau 09 et 10 en Annexes 05**) ce qui confirme la fiabilité des résultats. Cette similarité nous mène à dire que les 20 génotypes ont une capacité d'hydratation du gluten qui est similaire également. Les variations des teneurs en gluten sec varient de (4.33%) enregistré pour la variété V₇ cultivée à Beni Mestina, à (11.03%) enregistré pour la variété V₉ cultivée à Sigus.

2. Analyses Biochimiques :

2.1 : Taux d'humidité :

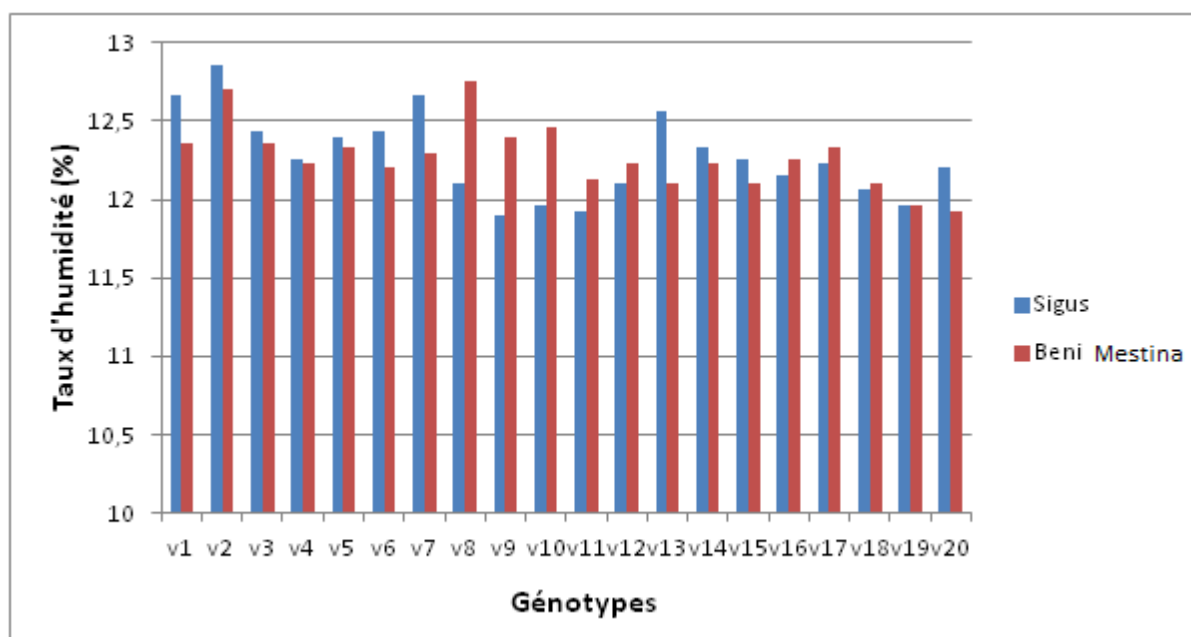


Figure 14 : La variabilité des valeurs du taux d'humidité des génotypes testés pour les deux environnements (Beni Mestina et Sigus) pour la campagne 2017/2018

Les différentes valeurs d'humidité enregistrées sont presque semblables (**Figure 14**) ; les variétés ont un pourcentage d'humidité compris entre 11,93% et 12,76% pour les 20 génotypes cultivés à Beni Mestina et entre 11,9% et 12,9% pour les génotypes cultivés à Sigus.

Ces valeurs sont inférieures à la valeur maximale exigée du Codex STAND 178-1991 (14.5%), donc toutes les variétés se trouvent légèrement en dessous des normes pour le pourcentage d'humidité ; ceci est surtout dû à la récolte tardive des différents essais dans les deux sites.

2.2 Taux des protéines :

La teneur en protéines du grain du blé dur est le critère le plus important pour l'appréciation de la qualité, cette teneur est conditionnée d'après les auteurs d'un côté par le facteur génotype et d'un autre côté par les conditions culturales. L'accumulation et l'augmentation du taux des protéines dans l'albumen du grain est le résultat d'une très bonne utilisation de l'azote par la plante au cours de son développement d'une part et d'un transfert efficace de l'azote de la partie végétative vers les grains au cours du remplissage d'autre part (Feillet, 2000).

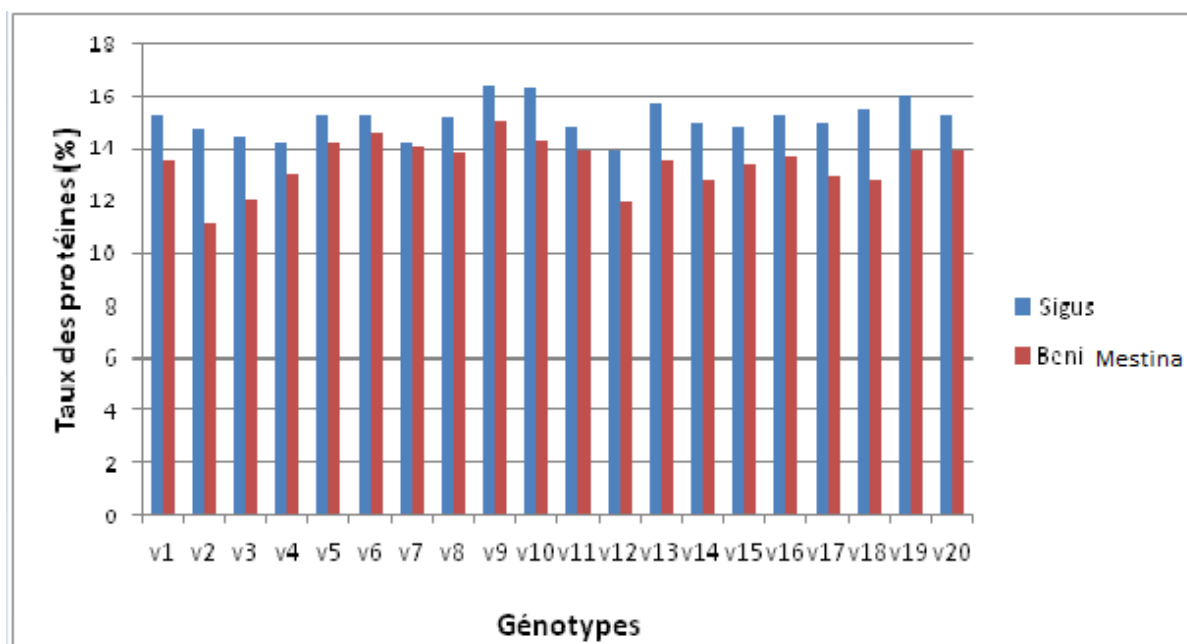


Figure 15: Variabilité du taux des protéines des génotypes testés pour les deux environnements (Beni Mestina et Sigus) pour la campagne 2017/2018

La distribution de l'histogramme pour le taux de protéines (**Figure15**) présente des différences entre les différents génotypes testés et ces différences sont significatives dans les deux sites, l'analyse de variance (**Tableau 13 et 14 en Annexes 05**) montre bien que ces différences sont hautement significatives entre les différents génotypes.

La variation en taux de protéines est comprise entre 11.26% enregistré pour V2 cultivée à Beni Mestina et 16.4% enregistré pour V₉ cultivée à Sigus

Le site de Sigus montre de meilleurs traits de qualité pour ce critère par exemple qu'au niveau du site Nord de Constantine (Beni Mestina).

Puisque nos 40 géotypes sont cultivées dans deux environnements contrastés, les différences observés sont du à l'interaction (Géotype x Environnement).

Autran (1996), a indiqué dans ses travaux que la teneur en protéine variant de 12 à 13% dans la semoule est nécessaire pour qu'un blé dur permette de fabriquer des pâtes alimentaires de qualité requise : ce qui est en conformité avec un bon nombre de nos géotypes testés qui dépassent se seuil ou se situe à sa limite.

2.3 Electrophorèse des protéines totales :

Pour estimer la variation intra et inter-variétale existante entre les géotypes de blé dur de 20 variétés étudiées, à travers l'analyse électro-phorétique des protéines totales des grains de blé dur (nombre de bandes, poids moléculaire,...)

2.3.1 Diversité génétique des protéines totales :

Le blé dur possède une teneur élevée en protéines dont la composition en acides aminés et la structure leur confèrent des propriétés fonctionnelles différentes de celles des autres céréales. Ce caractère génétique est d'importance capitale dans les stratégies d'amélioration variétales.

Les électrophorégrammes suivants présentent cette variabilité pour chacun des géotypes étudiés.

Pour estimer la variation intra et inter variétable existante entre les 20 géotypes de blé dur étudiés à travers l'analyse électro-phorétique de protéines total (n° de bandes, poids moléculaire, indice de similarité...), les profils électro-phorétiques (**Figures 16....21**) présentent le polymorphisme existant.

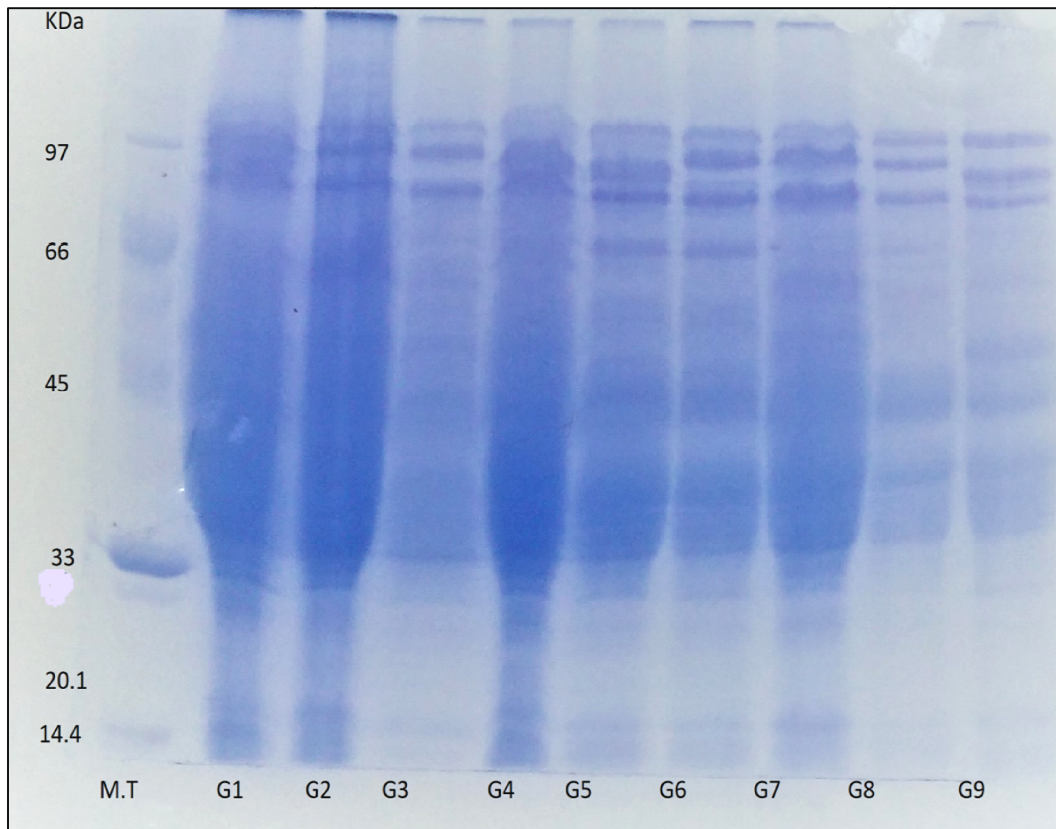


Figure 16: Gel électrophorétique -1- des protéines totales des grains de blé dur de 9 géotypes testés cultivés à Constantine-Beni Mestina-

-Le gel 1 est composé de 9 profils représentatifs de 9 géotypes (G1, G2, G3, G4, G5, G6, G7, G8 et G9) en plus de marqueur de taille (M.T) qui est notre référence en détermination des bandes et qu'il comprend 6 bandes de 97KDa, 66KDa, 45 KDa, 30KDa, 20.1KDa et 14.4KDa.

-L'observation des profils électrophorétiques montre : des bandes de faible poids moléculaires FPM (>14.4 à 75 KDa) et des bandes de hauts poids moléculaires HPM (<75KDa) d'une intensité variable.

-La présence des bandes qui ne se voient pas clairement. C'est du peut être à la présence de quelques traces d'impuretés qui nécessite une étape de rinçage de plus.

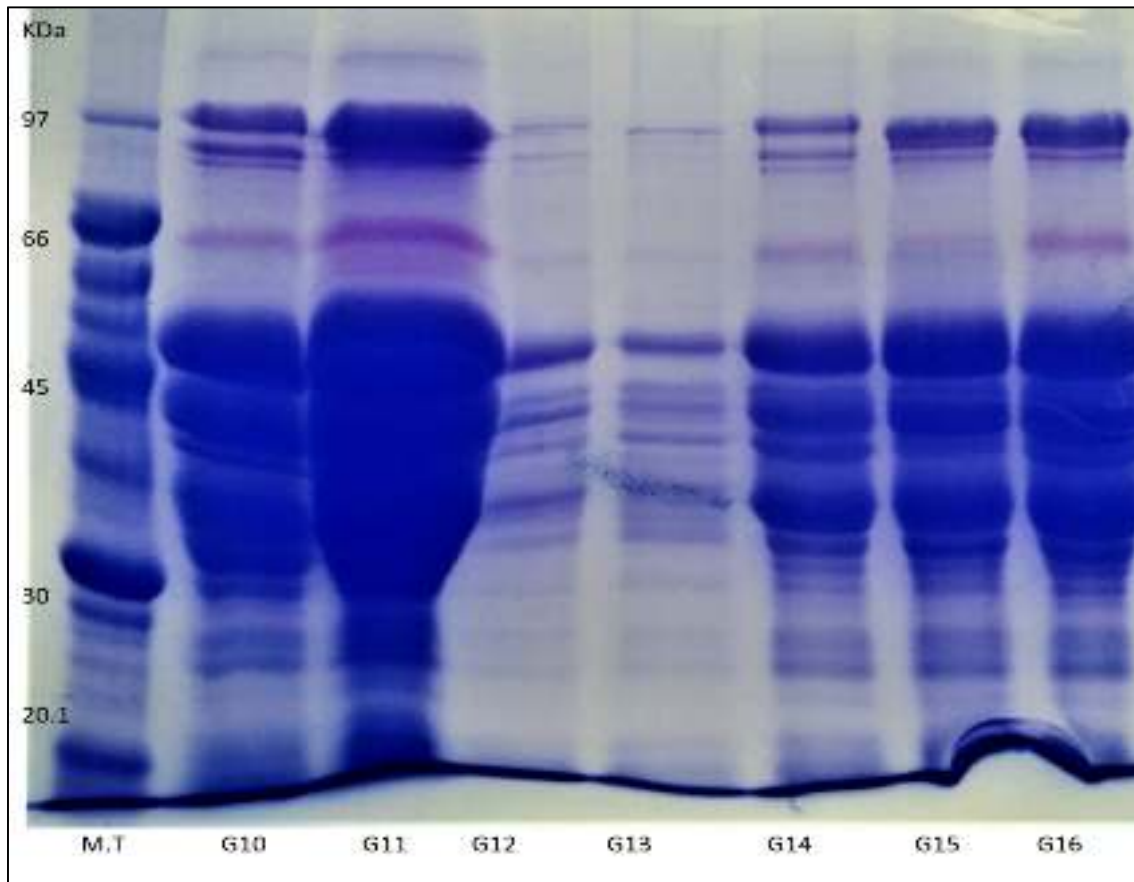


Figure 17 : Gel électrophorétique -2- des protéines totales des grains de blé dur de 7 géotypes testés cultivés à Constantine-Beni Mestina- .

- Le gel 2 comprend 7 profils électrophorétiques représentatifs de 7 géotypes (G10, G11, G12, G13, G14, G15, et G16) en plus de marqueur de taille (M.T).

-L'observation des profils électrophorétiques montre, des bandes de faible poids moléculaires FPM (>14.4 à 75 KDa) et des bandes de hauts poids moléculaire HPM (<75KDa) d'une intensité variable.

-Les profils 3 et 4 qui représentent les géotypes (G10 et G11 respectivement) montre des bande d'une forte intensité qui ne sont pas bien claires et distinctes à l'observation. C'est un problème technique dû à la technicité.

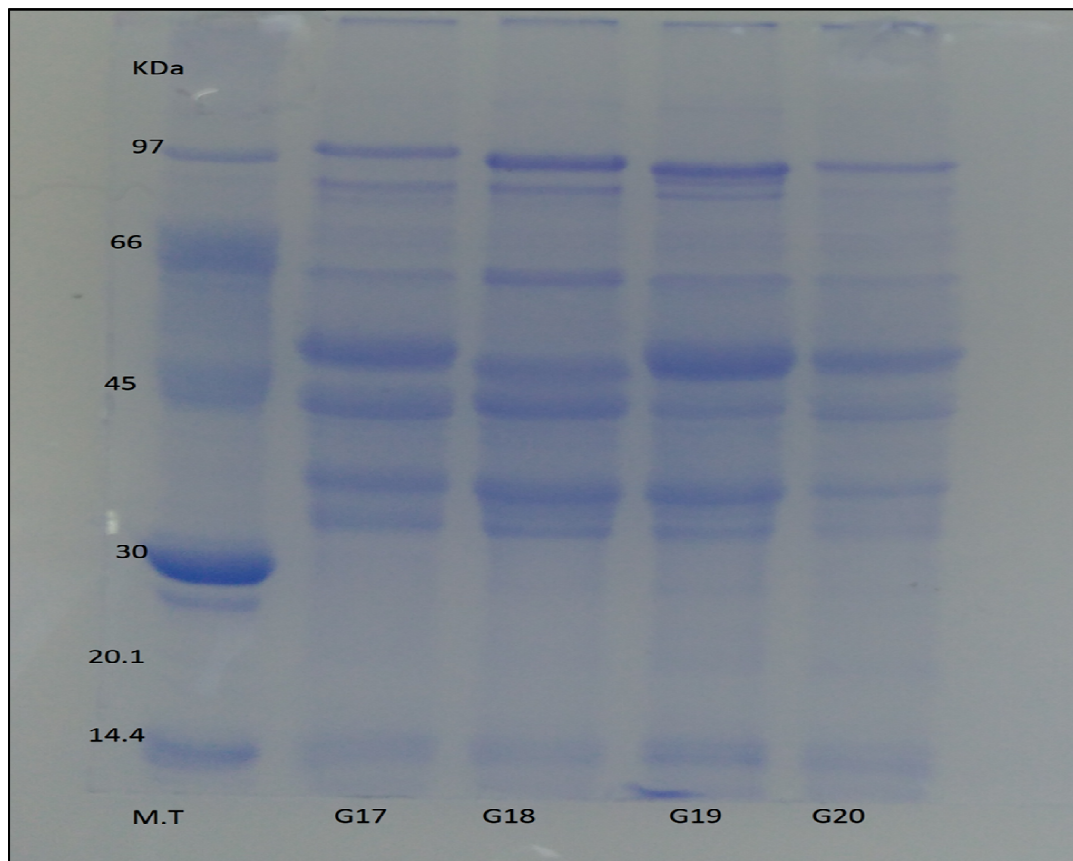


Figure 18: Gel électrophorétique -3- des protéines totales des grains de blé dur de 5 génotypes testés (G17, G18, G19, G20) cultivées à Beni Mestina

-Le gel 3 comprend 5 profils électrophorétiques représentatifs de 5 génotypes (G17, G18, G19, et G20 respectivement) en plus d'un marqueur de taille (M.T).

-Les bandes sont bien séparées et bien distinctes, elles se voient clairement.

- L'observation d'électrophoregramme montre, des bandes de faible poids moléculaires FPM (>14.4 à 75 KDa) et des bandes de hauts poids moléculaire HPM (<75KDa) d'une intensité variable.

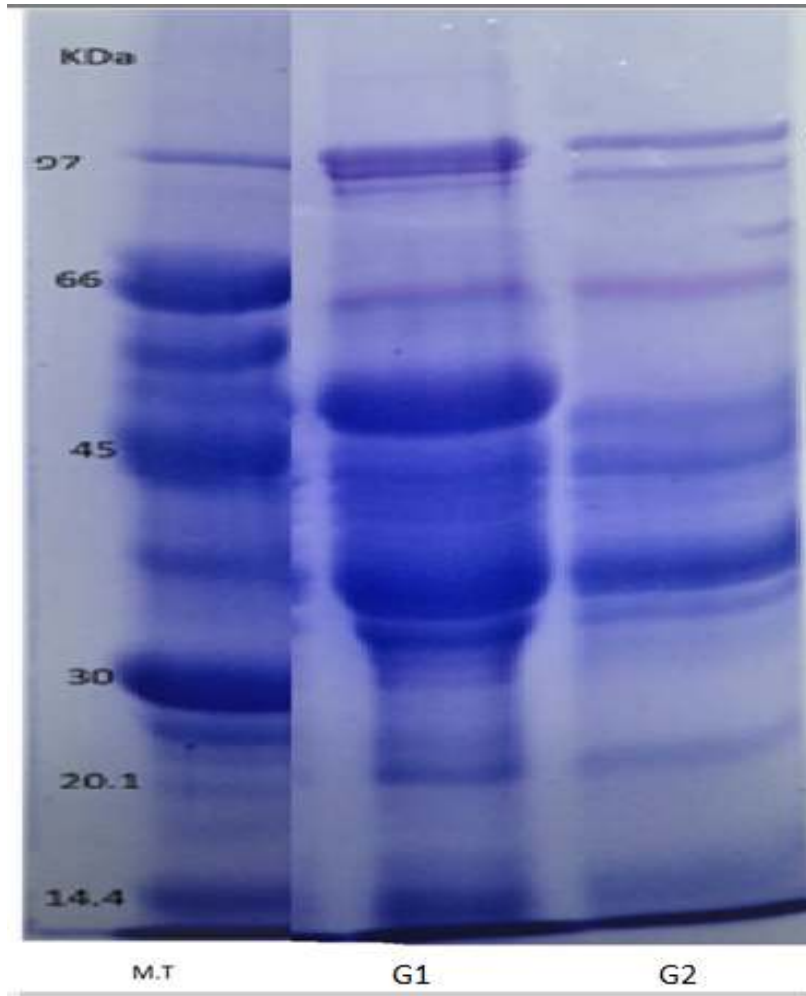


Figure 19: Gel électrophorétique -4- des protéines totales des grains de blé dur de 2 génotypes (G1 et G2) testés cultivés à Oum El Bouaghi-Sigus-.

-Le gel électrophorétique 4 comprend 2 profils représentant les génotypes (G1 et G2)

-L'observation d'électrophoregramme montre, des bandes de faible poids moléculaires FPM (>14.4 à 75 KDa) et des bandes de hauts poids moléculaire HPM (<75KDa) d'une intensité variable dont les bandes sont bien séparées et distinctes.

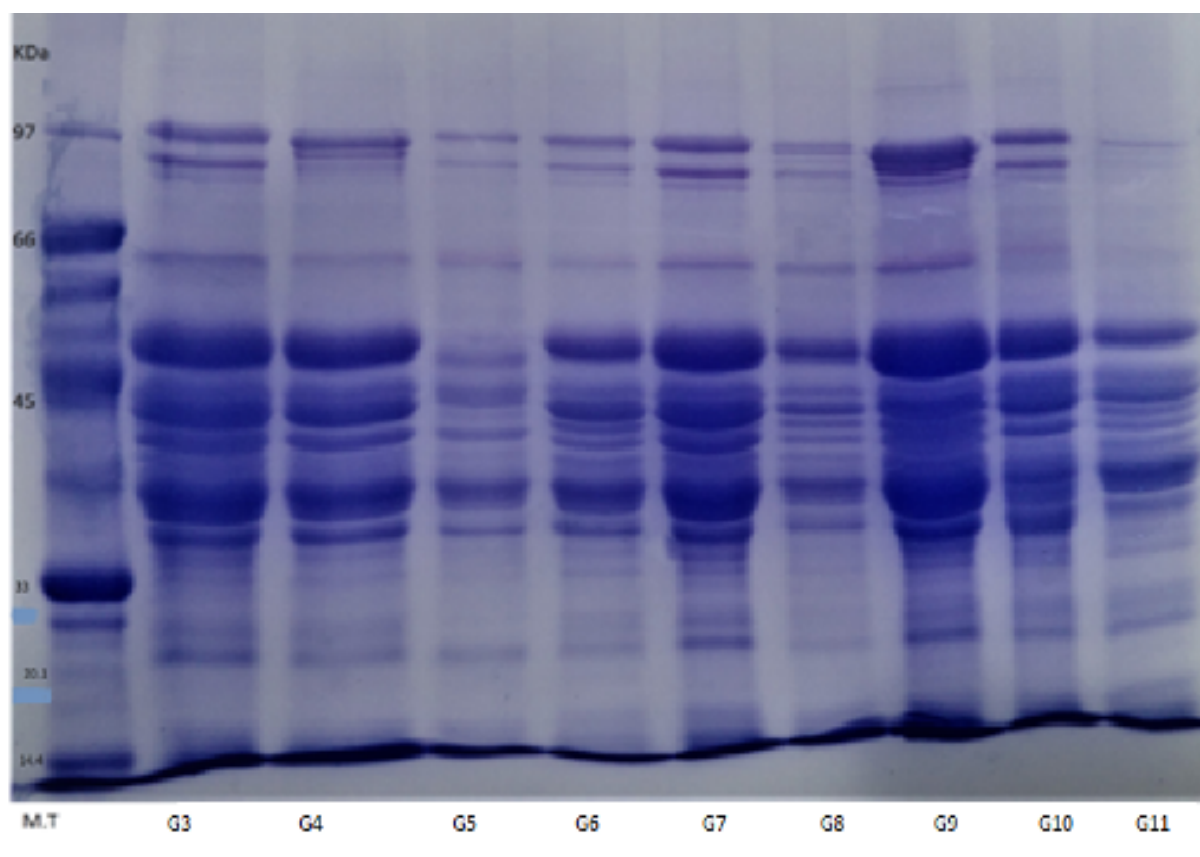


Figure 20 : Gel électrophorétique -5- des protéines totales des grains de blé dur de 9 génotypes testés cultivés à Oum El Bouaghi-Sigus- .

Le gel 5 comprend 9 profils des génotypes (G3, G4, G5, G6, G7, G8, G9, G10 et G11) en plus de marquer de taille (M.T). L'observation d'électrophoregramme montre, des bandes de faible poids moléculaires FPM (>14.4 à 75 KDa) et des bandes de hauts poids moléculaire HPM (<75 KDa) d'une intensité variable dont les bandes sont bien séparées et distinctes d'une forte intensité.

-

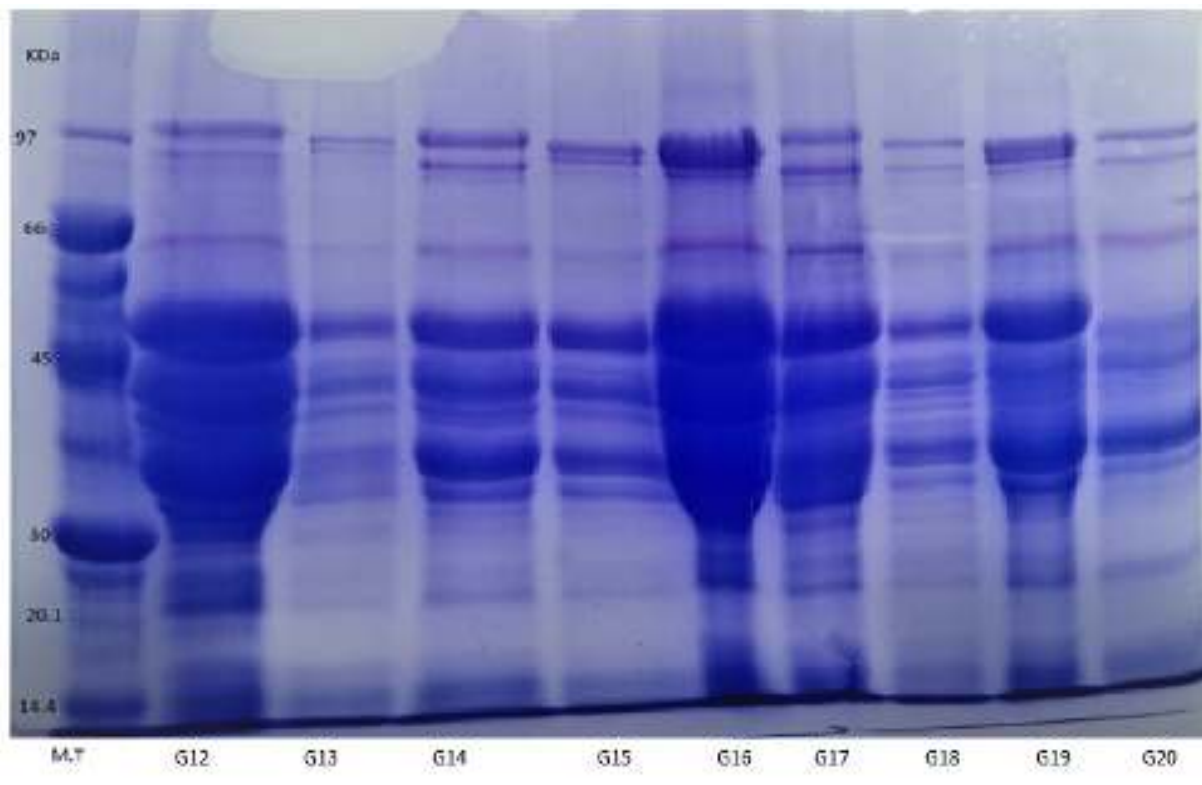


Figure 21 : Gel électrophorétique -6- des protéines totales des grains de blé dur de 9 géotypes testés cultivées à Oum El Bouaghi-Sigus-

-le gel électrophorétique 6 comprend 9 profils des géotypes (G12, G13, G14, G15, G16, G17, G18, G19 et G20 respectivement) en plus de marqueur de taille (M.T).

-L'observation montre des bandes de différentes tailles dont le poids moléculaire exprimé en KDa est varié, de haut et de faible poids moléculaire (HPM et FPM).

-Les bandes sont bien séparées et distinctes sauf pour (G12 et G16).

L'analyse des profils électrophorétiques consiste à révéler la mobilité relative de chacune des bandes observées sur le gel.

La présence des bandes claires, distinctes et bien séparées pour la plupart des profils, d'intensité variable, de poids moléculaire variant de 12.9 KDa (G02) à 116.2KDa (G20) est observé.

D'après Jasso (2002), l'augmentation de l'intensité des bandes est le résultat de l'augmentation des protéines

On constate que ces électrophoregrammes révèlent un polymorphisme important qui se résumant comme suit:

- ✓ Un nombre de bandes qui varie entre 10 et 25 (**Tableau 04**). Un nombre de bandes plus élevé observé chez les génotypes cultivés à Sigus, ce qui indique un polymorphisme assez important pour ce site par rapport à l'autre.

Tableau 04: Nombres de bandes observés pour les 20 génotypes testés cultivées à deux environnements contrastés (Constantine-Beni Mestina et Oum El Bouaghi-Fp Ghoul-Sigus)

Variété	N° de bandes (Beni Mestina)	N° de bandes (Sigus)
V1	14	15
V2	14	15
V3	11	17
V4	14	17
V5	11	18
V6	13	20
V7	15	18
V8	14	25
V9	13	22
V10	14	20
V11	10	20
V12	16	20
V13	15	22
V14	17	20
V15	15	21
V16	15	14
V17	17	15
V18	18	21
V19	18	23
V20	18	12

- ✓ Des bandes uniques chez plusieurs génotypes.
- ✓ Des génotypes qui partagent des bandes communes
- ✓ Le génotype G18 enregistre le plus grand nombre de bandes, soit 25 bandes de mobilité se situant entre 13.9 à 94.2 KDa

- ✓ Le génotype G11 enregistre le plus petit nombre de bande, soit 10 bandes de mobilité se situant entre 14.0 KDa à 114.9 KDa

La teneur en protéine est un caractère polygénique complexe, influencées par plusieurs gènes repartis sur tous les chromosomes agissant probablement en interaction avec les conditions agronomiques et environnementales notamment l'alimentation en eau et la fertilisation azotée (Feillet, 2000 et Amallah, 2017).

2.3.2 Analyse hiérarchique des variables indice de similarité :

Pour quantifier la ressemblance (ou la dissemblance) des différents génotypes de la variété, nous avons calculé l'indice de similarité à l'aide d'un logiciel statistique « Minitab 18 ».

- Calcul de distance du coefficient de corrélation, Liaison complète :

Les calculs des distance en fonction de la matrice de similarité et du coefficient de corrélation plus la liaison complète des différents génotypes ainsi que leur subdivision finale, ont donnés les résultats qui se résumés dans les tableaux **(05, 06 et 07)**...ci-dessous.

Tableau 05: Niveau de similarité des 20 géotypes de Beni Mestina

Etape	Nombre de groupes	Niveau de similarité	Niveau de distance	Groupes liés
1	19	66,6094	0,66781	19 20
2	18	60,7053	0,78589	10 14
3	17	59,9864	0,80027	4 13
4	16	58,0921	0,83816	4 5
5	15	55,3778	0,89244	6 9
6	14	54,9626	0,90075	2 3
7	13	54,8496	0,90301	17 18
8	12	54,1412	0,91718	10 16
9	11	53,7386	0,92523	1 8
10	10	53,0222	0,93956	12 15
11	9	51,4318	0,97136	17 19
12	8	50,0349	0,99930	1 2
13	7	47,1566	1,05687	6 11
14	6	46,6205	1,06759	4 7
15	5	46,4736	1,07053	6 12
16	4	46,3313	1,07337	1 4
17	3	46,2267	1,07547	6 10
18	2	45,7820	1,08436	1 6
19	1	45,5031	1,08994	1 17

Tableau 6: Niveau de similarité des 20 géotypes de Sigus

Etape	Nombre de groupes	Niveau de similarité	Niveau de distance	Groupes liés
1	19	61,1172	0,77766	17 19
2	18	59,2532	0,81494	12 14
3	17	58,0379	0,83924	13 15
4	16	57,3802	0,85240	3 10
5	15	56,4013	0,87197	4 8
6	14	56,0405	0,87919	12 16
7	13	54,4640	0,91072	5 11
8	12	54,4640	0,91072	6 7
9	11	53,5247	0,92951	6 9
10	10	51,1141	0,97772	2 20
11	9	49,3942	1,01212	1 12
12	8	48,6262	1,02748	3 18
13	7	48,2281	1,03544	13 17
14	6	46,6146	1,06771	2 6
15	5	46,2542	1,07492	4 5
16	4	45,6710	1,08658	1 4
17	3	45,4399	1,09120	1 13
18	2	45,4399	1,09120	2 3
19	1	44,9609	1,10078	1 2

Tableau 7: Subdivision finale des 20 génotypes de Beni Mestina et Sigus

Beni Mestina		Sigus	
Groupes	Variables	Groupes	Variables
Groupe 1	G1	Groupe 1	G1
Groupe 2	G2	Groupe 2	G2
Groupe 3	G3	Groupe 3	G3
Groupe 4	G4	Groupe 4	G4
Groupe 5	G5	Groupe 5	G5
Groupe 6	G6	Groupe 6	G6
Groupe 7	G7	Groupe 7	G7
Groupe 8	G8	Groupe 8	G8
Groupe 9	G9	Groupe 9	G9
Groupe 10	G10 G14	Groupe 10	G10
Groupe 11	G11	Groupe 11	G11
Groupe 12	G12	Groupe 12	G12
Groupe 13	G13	Groupe 13	G13
Groupe 14	G15	Groupe 14	G14
Groupe 15	G16	Groupe 15	G15
Groupe 16	G17	Groupe 16	G16
Groupe 17	G18	Groupe 17	G17 G19
Groupe 18	G19 G20	Groupe 18	G18
		Groupe 19	G20

2.3.3 Classification hiérarchique :

La classification hiérarchique des protéines totales a permis d'établir un dendrogramme illustrant les relations entre les génotypes des 20 variétés de blé dur.

Pour les dendrogrammes les résultats montrent des degrés d'hétérogénéité différents dans les profils protéiques des blés durs. Une diversité caractérisée par un polymorphisme protéique entre les 20 variétés.

➤ Dendrogrammes :

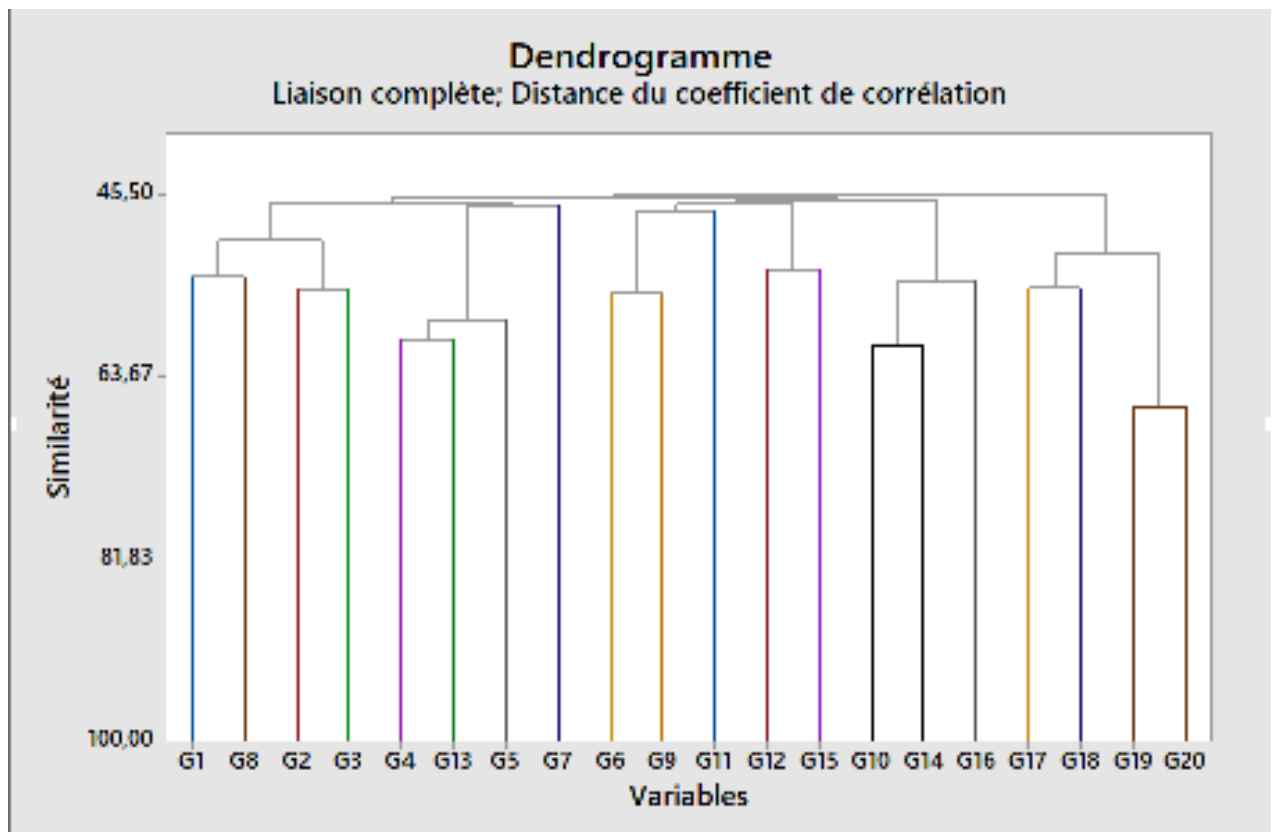


Figure 22: Dendrogramme d'après les profils électrophorétique des grains des 20 génotypes des différentes variétés cultivées à Constantine-Beni Mestina.

Sur la **Figure 22** on remarque que les différents génotypes se répartissent en deux groupes majeurs regroupés en sous-groupes qui regroupent à leur tour des clades ou des clusters avec des feuilles qui présentent les différents génotypes.

- le premier groupe majeur est formé des génotypes : G1, G8, G2, G3, G4, G13, G5 et G7,G6,G9,G11,G12, G15, G10,G14 et G16 avec une similarité de 45,5% avec le deuxième groupe majeur, il se divise à son tours en trois sous-groupes avec un niveau de similarité qui va jusqu'à 45,79% entre eux.
- Deuxième groupe majeur est formé des génotypes : G17, G18, G19 et G20 avec une similarité d'environ 46%

-La plus petite valeur en terme de similarité et enregistrée entre les génotypes G19 et G20 avec 66.1%

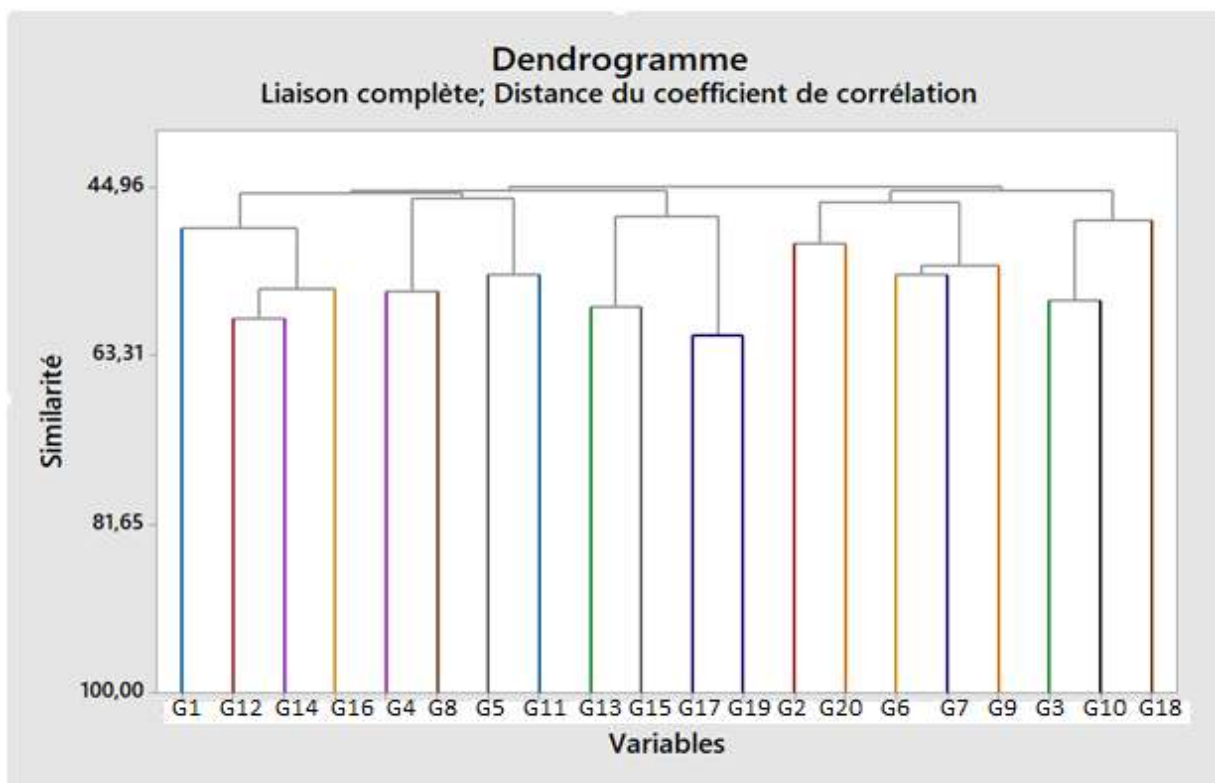


Figure 23 : Dendrogramme d'après les profils électrophorétique des grains des 20 génotypes des différents variétés cultivées à Oum El Bouaghi-Sigus-

Sur la **Figure 23** le dendrogramme représente la répartition hiérarchique des différents génotypes (G1-G20). On remarque que les génotypes sont regroupés en deux groupes majeurs avec un niveau de similarité de 44.96% entre eux.

- Le premier groupe majeur regroupe les génotypes : G1, G12, G16, G4, G8, G5, G11, G13, G15, G17 et G19.
- Le deuxième groupe majeur regroupe les génotypes : G2, G20, G6, G7, G9, G23, G10, G18.

La plus petite valeur en terme de niveau de similarité est enregistrée entre les génotypes G17 et G19 avec un niveau de similarité de 48.23%.

La classification hiérarchiques des génotypes montre des différences remarquables intra et inter-génotypique entre les deux environnements d'étude. L'effet de l'environnement sur l'expression génotypique est clair.



**Conclusion &
Perspectives**

Conclusion :

Notre travail porté sur l'étude de la qualité et du rendement en grain d'une collection de 20 nouvelles variétés de blé dur (*Triticum durum*, Desf.) dont 6 variétés témoins (Waha, Cirta, Simeto, Wahbi, Beni Mestina et Ain Lahma) et 9 lignées cultivées dans deux environnements contrastés en Algérie durant la campagne 2017/2018 dans l'ensemble de 20 géotypes ont été testés

Le but été d'évaluer le comportement de ces géotypes dans leur environnement de culture, par rapport aux paramètres de rendement en grain et de la qualité technologique pour ressortir la variété ou lignée, qui présente un comportement idéal pour la productivité ainsi que pour la qualité. Ceci principalement pour satisfaire l'agriculteur qui s'intéresse au rendement, et le meunier qui s'intéresse à la qualité semoulière dont les aspects poids de milles grains, taux de moucheture, taux de mitadinage, taux d'humidité des grains et taux de protéines sont fortement pris en considération et l'industrielle qui s'intéresse à la qualité lors de la transformation en agroalimentaire dont les aspects taux de protéine et taux du gluten sont en en tête de son intérêt car il cherche à son tour de satisfaire le destinataire final dans tout ce processus qui est le consommateur et d'assurer la bonne marchandise de ses produits en terme du vente

Les résultats obtenus dans cette étude des différentes méthodes et analyses statistiques utilisées, à s'avoir l'analyse de variance « ANOVA », les histogrammes pour comparer entre les géotypes entre les deux environnements de culture, l'électrophorèse des protéines totales des grains de blé dur pour révéler le polymorphisme protéique et la classification hiérarchique des géotypes sur la base de ressemblances / dissemblances entre les différents groupe, indique ce qui suit :

- ✓ Il existe une importante variabilité génétique intra et inter géotypique parmi les géotypes étudiés pour tous les paramètres y inclus les paramètres du rendement en grain et les paramètres de qualité technologique.
- ✓ Il existe des différences significatives à hautement significatives pour tous les paramètres mesurés et analysés, que se soit pour le rendement, dont les valeurs sont comprises entre 15.5 qt/ha et 56.7 qt/ha dont le rendement est meilleur pour les géotypes cultivés à Constantine-Beni Mestina- que pour les géotypes cultivés à Oum El Bouaghi-Sigus-, pour le poids de mille grains (32.0g à 55.17g), le taux de

mitadinage (2.6% à 94.66%), le taux de moucheture (5.,81% à 84.42%), le taux d'humidité (11.9% à 12.9%), taux de protéines (11.26% à 16.4%), taux du gluten humide (11% à 27.76%) et le gluten sec (4.03% à 11.03%) dont la qualité technologique est meilleure pour les génotypes cultivés à Oum El Boughi-Sigus- ce qui nous mène face à une contradiction entre la qualité et la quantité.

- ✓ En matière du rendement nos variétés témoins ont marqué un bon rendement pour la majorité et dans les deux environnements de cultures aussi en matière de qualité technologique pour le poids de milles grains, le taux de protéines, le taux du gluten humide/sec, par contre des taux élevés de mitadinage et de moucheture par rapport aux variétés/ lignées existent ce qui affecte leur qualité à la transformation et leur prix à la commercialisation.
- ✓ Nos résultats révèlent aussi de très importantes informations sur le comportement des 20 génotypes testés, leur aptitude à l'adaptation dans les environnements donnés, sur l'interaction Génotype x Environnement et sur l'expression génotypique. Ce qui peut aider dans les travaux de sélection pour avoir des variétés élites qui combinent entre le rendement et la qualité avec la stabilité de ces deux caractères (dans son environnement adopté).

Les analyses biochimiques faites ont contribué à la caractérisation et à la classification hiérarchique des génotypes testés en groupes, ainsi que son niveau de similarité.

La caractérisation biochimique de la composition du grain de blé dur a permis de renforcer les travaux de la sélection d'une façon très efficace et approfondie.

Perspectives :

- La conformité de ces résultats nécessite d'autres tests et analyses.
- Il serait beaucoup plus utile de :
- Poursuivre ce travail pour une autre année d'étude.
- Avoir une sélection à la base du rendement et de la qualité en parallèle et non pas pour l'un des deux.
- Respecter l'aspect de l'adaptation environnementale pour le choix variétal.



**Références
Bibliographiques**

Références Bibliographiques:

- 1- **Abecassis J, Gautier M-F. et Autran J-C. (1990).** Actualités des industries alimentaires et agro-industrielles, La filière blé dur - pâtes alimentaires. Apports complémentaires de la technologie et de la génétique dans l'amélioration de la qualité. Actualités des industries alimentaires et agro-industrielles, P 475 - 482.
- 2- **Alaoui, S.B. (2005).** Référentiel pour la conduite technique de la culture du blé dur (*Triticum durum*). P 15
- 3- **Amallah, L. (2017).** Structuration de la variabilité génétique d'une collection de blé dur au Maroc par les marqueurs agro-morphologiques, physico-chimiques, biochimiques et moléculaires et étude des associations marqueurs SSR – paramètres de qualité. Thèse de Doctorat. Université Mohammed V, Rabat PES, p 25-78.
- 4- **Amrani, (2006).** Pour réussir votre campagne Agricole... Synthèse des recommandations techniques en céréaliculture. Céréaliculture : revue technique et scientifique de l'ITGC, N° 47, P 49.
- 5- **Anonyme. (1996).** Programme céréale, programmation par objectifs. Institut National de la Recherche Agronomique. Rabat, Maroc.
- 6- **Ansart, C. (2017).** CIC Conférence International des Céréales.
- 7- **Arvalis (2013).** Blé dur. Choisir et décider Variétés et traitements d'automne, P 36
- 8- **Autran, J.C.(1981)** Recent data on the biochemical basis of durum wheat quality.
- 9- **Baasandordj,T.,Ohm J-B., Simsek .,S .(2015).** Effect on dark Hard and Vitreous Kernel Content on Protein Molecular Weight Distribution, and Milling and Bread making Quality Characteristics for Hard Spring. Cereal Chemistry, Vol92, N°6, P 9.

- 10- **Bard, C. (1995).** Contrôle de la qualité des céréales et protéagineux - Guide pratique.
Paris: ITCF - ONIC.
- 11- **Benbelkacem, A., Kellou, K. (2000).** Evolution du progrès génétique chez quelques variétés de blé dur (*Triticum durum* Desf.) cultivées en Algérie. Symposium blé. enjeux et stratégie, P192
- 12- **Benbelkacem, A., Sadli, F., Brinis, L. (1995).** La recherche pour la qualité des blés durs en Algérie. Séminaires Méditerranéens. ICARDA / CIHEAM / CIMMYT. Zaragoza, 17-19 novembre
- 13- **Bennani, S (2012).** Rôle de la sélection participative dans la création variétale : Cas du blé tendre. Chercheure en amélioration génétique du blé tendre .CRRA Meknès.
- 14- **Benseddik, B. et Benabdelli, K. (2000).** Impact du risque climatique sur le rendement du blé dur en -zone semi-aride. Approche éco- physiologique, Sécheresse, Vol 11,2000, N° 1, pp. 45-51.
- 15- **Biesiekierski, J.R. (2017).** What is gluten?. *J Gastroenterol Hepatol*, vol° 32 Suppl 1, P 78–81.
- 16- **Boujard, D., Anselme, B., Cullin, C., Raguénès-Nicol, C. (2012).** Biologie Cellulaire et Moléculaire-Tout le cours en fiches : Licence, PAES, CAPES. Paris, France. Edition Dunod, P 56-57.
- 17- **Branger A, Richer M et Roustel S. (2007).** Alimentation et processus technologiques, ouvrage collectif. Dijon, France. 2007. Edition : Martine poillot, Educagri éditions. P 51
- 18- **Branger A, Richer M et Roustel S. (2007)** Alimentation et processus technologiques, ouvrage collectif. Dijon, France. Edition : Martine poillot, Educagri éditions. P 47-48
- 19- **Charles M.(2010).**Évolution des génomes du blé (genres *Aegilops* et *Triticum*) au sein des Poaceae : Dynamique rapide de l'espace occupé par les éléments transposables et

- conservation relative des gènes. Thèse de Doctorat. Université d'Évry-Val d'Essonne, France, P: 812.
- 20- **CIC. (2017).**Conseils international des céréales France. AgriMer Marché du blé dur Campagne 2016/17 Projections 2017/18, P 4-8.
- 21- **Citron, G. (2007).** Agronomie et régulateurs /A l'abri de la verse .Perspectives agricoles, N° 331, P 4.
- 22- **Dexter, J.E. et Edwards, N.M. (1998).** The Implications of Frequently Encountered Grading Factors on the Processing Quality of Durum Wheat. Association of Operative Millers –Bulletin, P30.
- 23- **El Hade El Okki, L. (2015).** Valeurs d'appréciation de la qualité technologique et biochimique des nouvelles obtentions variétales de blé dur en Algérie, Thèse de magistère. Sétif, Algérie. P 20-64
- 24- **FAO (organisation des nations unies pour l'alimentation et l'agriculture). (2017).** Bulletin de la FAO sur l'offre et la demande de céréales, P7. Page consulté le 14.05.2019.<http://www.fao.org/worldfoodsituation/csdb/fr/>.
- 25- **Feillet, P. (2000).** Le grain de blé: composition et utilisation. France. Editions Quae. INRA, P 40-300.
- 26- **Gallais, A. (2015).** Structure des exploitations agricoles. Agreste - DRAAF Nord - Pas-de-Calais, P 7-25.
- 27- **Gleen. (2000).** Seeds and Stored Grains. Agronomy handbook. Virginia cooperative extension, P 10.
- 28- **Godon, B. (1991).** Biotransformation des produits céréaliers. Lavoisier, Paris INRA - Technique et documentation, P 21.
- 29- **Hamadache A. (2013)** .Eléments de Phytotechnie Générale.Grandes Cultures. Tome 1 Le blé, P 256

- 30- **Hamadache,A. (2001)**. La culture traditionnelle du blé en Algérie-Possibilités d'alimentation, Manuel illustré des grandes cultures à l'usage des vulgarisateurs et techniciens de l'agriculture. ITGC El Harach Alger, Algérie, P 15.
- 31- **I.T.C.F. (2001)** Contrôle de la qualité des céréales et protéagineux .guide pratique. *Lavoisier*,France, P 268. In : the quality of foods and beverages chemistry and technology . Vol .1 Academic press: New York, P 257-273.
- 32- **Jasso, D., De Rodriguez., Romero-Garcia J., Rodriguez-Garcia R., & Sanchez J. L.,. (2002)** Characterization of proteins from sunflower leavesand seeds: Relationship of biomass and seed yield. Trends in new crops and new uses. ASHS Press. Alexandria. VA, P143-149.
- 33- **Loué, A. (1970)**. Fumure et qualité. Document technique de la SCPA, P 24.
- 34- **Loué, A. (1970)**. Fumure et qualité. Mulhouse : SCPA, ouvrage n°7, P 24.
- 35- **Maciejewski,J. (2013)**. Semences et plants-2^{ème} édition-. Paris, France. Edition Céline Poiteaux, P 30.
- 36- **Merrien,A., Krouti ,M., Diaz,J.(2010)**. Usage du proche infrarouge pour la détermination de la qualité des graines oléagineuses. OCL, Vol 17 ,n° 2 ,Mars-Avril 2010, P 71
- 37- **Nottin.,Daros., Pignarre.(1949)**. Valeur industrielle des blés durs. Chambre d'agriculture de Constantine. Algérie, P 260
- 38- **Samson, M.F et Desclaux, D. (2006)**. Amélioration de la valeur technologique et commerciale du blé dur : vers une réduction des taux de moucheture et de mitadinage. Colloque régional. Campus INRA Montpellier, P 5.
- 39- **Scotti, G. (1997)**. Analyses physicochimiques, partie I, analyse physiques des grains du blé tendre et du blé dur, chap 5, P 76-119. In : (guide pratique d'analyse dans les industries des céréales), P 79.

- 40- **Selselet-Attou, G. (1991)**. Technologie des céréales et produits dérivés, document à l'usage des étudiants, Option T.A.A., P 150.
- 41- **Trentesaux, E. (1995)**. Evaluation de la qualité du blé dur. Durum wheat quality in the Méditerranéen Region. Séminaires Méditerranéen, N° 22.
- 42- **Turner, M. et Feyt, H. (2013)**. Les semences. Paris, France. Edition Quae.
- 43- <http://www.fao.org/worldfoodsituation/csdb/fr/> consulté le 13/05/2019.
- 44- https://fr.wikipedia.org/wiki/Grain_de_bl%C3%A9 Consulté le 2/06/2019.
- 45- <https://www.commerce.gov.dz/statistiques/la-production-cerealiere-en-2017> consulté le 23/05/2019.
- 46- <https://www.commerce.gov.dz/statistiques/la-production-cerealiere-en-2012> consulté le 4/04/2019.
- 47- <https://www.infoclimat.fr/climatologie/annee/2018/oum-el-bouaghi/valeurs/60421.html> consulté le 28/062019.

Annexes

Annexe 01

Tableau : Moyenne de rendement en grain des variétés étudiées de la récolte 2017/2018 des deux environnements d'étude : Beni Mestina et Sigus

N°	Variétés ou lignées	Rdt Beni Mestina (qt/ha)	Rdt Sigus (qt/ha)
1	V1	45,4	23,48
2	V2	49,1	16,72
3	V3	56,7	19,49
4	V4	40,2	24,76
5	V5	31	18,97
6	V6	39	19,48
7	V7	41,5	19,88
8	V8	42,1	15,15
9	V9	43,9	22,41
10	V10	51,3	19,54
11	V11	41,1	26,38
12	V12	43,7	22,18
13	V13	49,7	17,93
14	V14	40,6	21,26
15	V15	45,6	24,42
16	V16	33,5	9,8
17	V17	44,8	16,17
18	V18	32,5	19,68
19	V19	33,7	20,67
20	V20	37,7	28,43

Annexe 02

➤ Matériel et produits utilisés :

1-Caractères mesurés:

1-1 Détermination de la masse de 1000 grains du blé dur :

-Balance précise à 0.01g

-Compteur de grains automatique (c'est un appareil approprié pour le comptage des grains : compteur photoélectrique). A défaut d'appareil approprié, le comptage pourra être manuel.

1-2-Détermination du taux de mitadinage :

-Support sur lequel on dépose les grains

- Pince

1-3 Détermination du taux de Moucheture :

-Support sur lequel on dépose les grains

- Pince

1-4 Détermination de la teneur en gluten Humide/ Sec :

-Moulin à café électrique

-Semoule très fine de blé dur de chaque échantillon

-Capsule en verre ou mortier spécifique

-Tamis de mailles très petites

-Cuillère / Spatule

-Verre de montre

-Balance de précision

-Becher

-Agitateur

-Eprouvette graduée

-Papier aluminium

-Etuve

*Réactif :

-Eau distillée

-Sel de table à 98% NaCl

-Eau de robinet

2- Analyses biochimique :

2-1 Détermination du taux de protéines et d'humidité des grains par spectroscopie proche infrarouge (NIRS) :

-Semoule très fine des échantillons de blé dur

-Cuillère

-Appareil: Inframatic Analysis System (Perten Inframatic 8600: Specialists In Quality Control Of Grain, Flour, Food and Feed

2- 2 Extraction et électrophorèse SDS-PAGE des Protéines totales:

-Grains de blé dur (*Triticum durum*, Desf.) des 20 génotypes

-Mortier

-spatule

-Tube Ependorf de 2ml et de 1.5 ml

-hôte chimique

-Micropipette 1000 µl, 500µl, 200µl, 100µl, 20µl / Embouts jaunes et bleus

-Vortex

-Centrifugeuse

-Réfrigérateur

-Speed Vac

-Bain Marie

-Cuves BIO-RAD

-Power Pac BIO-PAD

-Microsurengue

-Boîtes en plastiques

***Réactifs:**

-solution de précipitation

-solution de rinçage

-Tampon bleu de Laemmli

-gel de migration

-gel de coloration

-solution de décoloration

-Eau distillée

Annexe 03

❖ **Extraction et électrophorèse des protéines totales :**

➤ **Liste des appareils et matériels :**

- Cuve BioRad

➤ **Liste des produits (chimique et biologique)**

- Acrylamide-bis acrylamide 30%
- 1.5M tris HCl pH8.8
- 0.5M tris HCl pH6.8
- SDS 10%
- APS 10%
- TEMED
- Eau distillée
- Marqueur de poids moléculaire

1- **Mode opératoire :**

2- Préparation solutions :

a) **Solution d'Acrylamide : bis acrylamide T= 30% C=2.67%**

Acrylamide	30g
N,N'méthylens bis acrylamide	0.8g
Eau distillée	100ml

- Préchauffer l'eau distillée à 37°C pour faciliter la dissolution des produits chimique
- Filtrer la solution à travers un filtre de 0.45 µm
- Ajuster le pH à 7
- Stocker la solution dans une bouteille opaque à 4°C (maximum 30 jours)

b) **1.5M tris HClpH 8.8 :**

	PM	100ml	200ml
Tris	121.1	18.15g	36.3g
Eau distillée		80ml	150ml

- Ajuster le pH à 8.8 avec du HCl fumant ou avant HCL 6N
- Compléter le volume avec l'eau distillée
- Filtrer la solution à travers un filtre de 0.45 µm
- Stocker la solution à 4°C

c) 0.5M Tris HClpH 6.8

	PM	100ml
Tris	121.1	6g
Eau distillée		60ml

- Ajuster le pH à 6.8 avec du HCl fumant ou avant HCL 6N
- Compléter le volume avec l'eau distillée
- Filtrer la solution à travers un filtre de 0.45 µm
- Stocker la solution à 4°C

d) 10% APS

	10ml
APS (Ammonium persulfate)	1g
Eau distillée	10ml

- Préparer extemporanément – stocker à 4°C

e) **10% SDS**

	50ml	100ml
SDS (Sodium dodécyl sulfate)	5g	10g
Eau distillée	50ml	100ml

- Utiliser le masque,
- Stocker à la température ambiante.

f) **Tampon d'électrophorèse :**

	Concentration final	1L
Tris base	250 mM	30.30g
Glycine	1.92M	144.10ml
SDS	1%	10g
H2Odi		Qsp 1L

- Ne pas ajuster le pH (-8.3)
- **Tampon d'électrophorèse 1x** : diluer 100ml du tampon 10x avec 900 ml d'H2O distillée.

g) **Butanol saturé en eau :**

n-Butanol	50ml
H2O	5ml

- **Bien homogénéiser. utiliser la phase supérieure**

h) **Solution de coloration :**

	Concentration finale	1L
Bleu de coomassie R250	0.025% (p/v)	250 mg
Méthanol	40% (v/v)	400 ml
Acide acétique	7% (v/v)	70 ml
H2Odi		Qsp 1L

- Dans un bécher mettez : méthanol , H2Odi et bleu de coomassie.
- Homogénéiser bien jusqu'à la dissolution de bleu de coomassie.
- Filtrer avec papier wattman N°01
- Ajouter l'Acide acétique.

i) Solution de décoloration :

	Concentration finale	1L
Méthanol	5% (v/v)	50 ml
Acide acétique	7% (v/v)	70 ml
H2Odi		Qsp 1L

- Dans un bécher, mélanger Méthanol et l'H2O distillée, puis ajouter l'acide acétique.

3- Protocole :

a) Préparation des plaques, coulage, montage :

- Nettoyer les plaques de verre avec l'éthanol puis rincer avec l'eau distillée
- Essuyer les deux plaques avec un kimwipe
- Après le montage des plaque sur le support, vérifier que ces deux plaque sont bien ajustées « afin d'éviter les fuites lors du coulage du gel ».

b) Préparation de la solution SDS PAGE :

- Préparer la solution de persulfate d'ammonium(APS) à 10 % dans H2O distillée et la garder à 4%

Dans un bécher, préparer le mélange acrylamide/bis acrylamide, tris et SDS et compléter avec de l'eau distillée

		GEL DE SEPARATION			GEL DE CONCENTRATION
		10%	12%	15%	4%
finale	[C]				
Acry bis 40%		2ml	1.8ml	2.25ml	0.2ml
1.5M Tris HCl pH8.8	0.375M	1.5ml	1.5ml	1.5ml	
0.5 Tris HCl pH6.8	0.125M				0.5ml
10% SDS	0.1%	60µl	60µl	60µl	20µl
10% APS	0.05%	30µl	30µl	30µl	10µl
TEMED	0.1%	6µl	6µl	6µl	2µl
H2O distillée		2.4ml	2.6ml	2.15ml	1.27ml
TOTAL		6ml	6ml	6ml	2ml

- Juste avant de couler le gel .ajouter le TEMED puis APS 10%, mélanger doucement. (APS = initiateur de la polymérisation du gel, TEMED = Accélérateur de la polymérisation)

c) Coulage du gel :

- Couler le gel séparation sans emprisonner de bulles d'air jusqu'à 1.5 cm du bord supérieur.
- Couvrir le gel de séparation avec butanol saturé en eau.
- Laisser polymériser pendant 30-35 min.

(le temps de polymérisation peut être contrôlé en observant le reliquat de gel préparé)

- Eliminer le butanol par le rinçage avec l'eau distillée 2 à 3 fois.
- Préparer le gel de concentration à 4%.
- Ajouter le TEMED et l'APS à 10%, mélanger puis couler le gel au-dessus du gel de séparation.
- Déposer le peigne dans sa position correcte.
- Laisser polymériser pendant 20 à 30 mnt
- Après la polymérisation retirer les peignes et remplir les puits avec tampons d'électrophorèse 1x.

d) Préparation de la cuve SDS PAGE

- Placer les deux plaques dans la cuve biorad
- Remplir la cuve avec le tampon d'électrophorèse (2gel=700ml, 4gel=1L).

e) Dépôts des échantillons :

- Décongeler les échantillons.
- Diluer les échantillons (1vol :1vol) dans **le tampon bleu de laemmli 2x**
- Incuber les échantillons à 95% pendant 5 min (10 min à 70°C)
- Vortexer quelque secondes
- Centrifuger 4 min vitesse max
- Déposer les échantillons à l'aide d'une micro seringue (15 à 20µl dans chaque puits)
- Ne pas oublier de rincer soigneusement la micro seringue avec le tampon d'électrophorèse entre chaque échantillon pour éviter toute contamination croisée.

f) Migration du gel :

- Placer le couvercle
- Fixer le voltage à 200V et l'ampérage entre 25 à 30 mA
- Laisser migrer entre 35 à 45 min.

g) Coloration de gel :

- Lorsque la migration est finie, retirer les plaques contenant le gel.
- Enlever les plaques, retirer le gel, éliminer le gel de concentration, couper l'un des coins du gel pour identifier l'ordre des échantillons.
- Mettez le gel dans un bac contenant la solution de coloration.
- Laisser agiter toute la nuit
- Le lendemain, récupérer la solution de coloration, rincer le gel avec l'eau distillée.
- Mettez le gel dans un bac contenant la solution de décoloration jusqu'à la visualisation des bandes de protéines.

- **Marqueur de taille utilisé :**

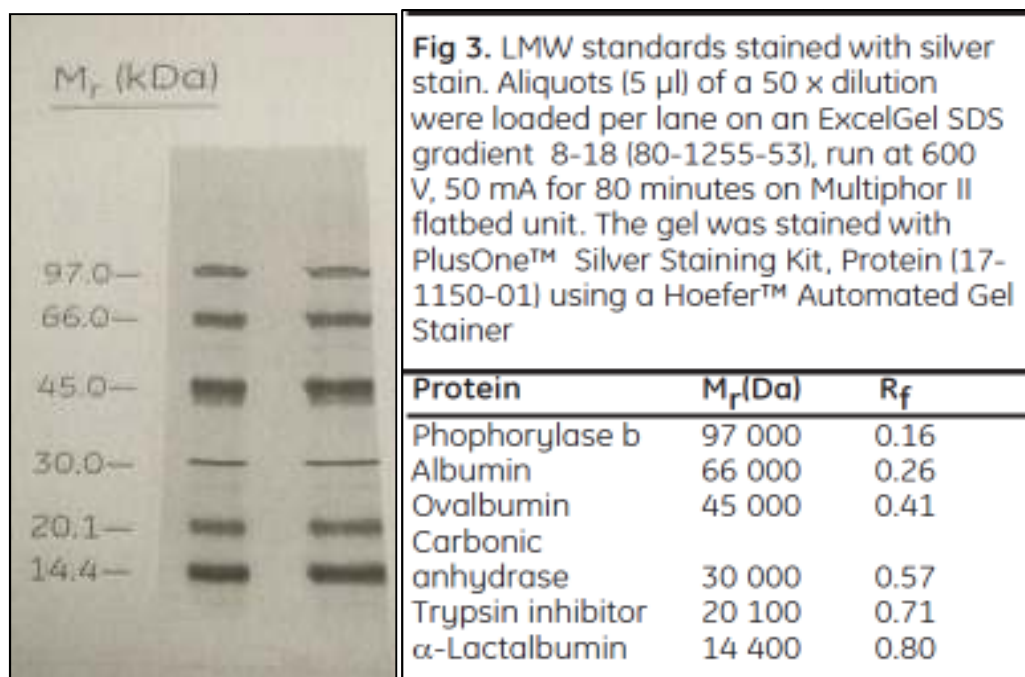


Figure1 : marqueur de taille (low) utilisé pour le marquage des profils électrophorétiques.

- **Caractéristiques de la cuve BIORAD :**

- **Plaque avec les spacers (1mm) :** Cat : 1653308
- **Plaque finie :** Cat : 1653311

Annexe 04

➤ Données climatologiques sur les deux environnements d'étude

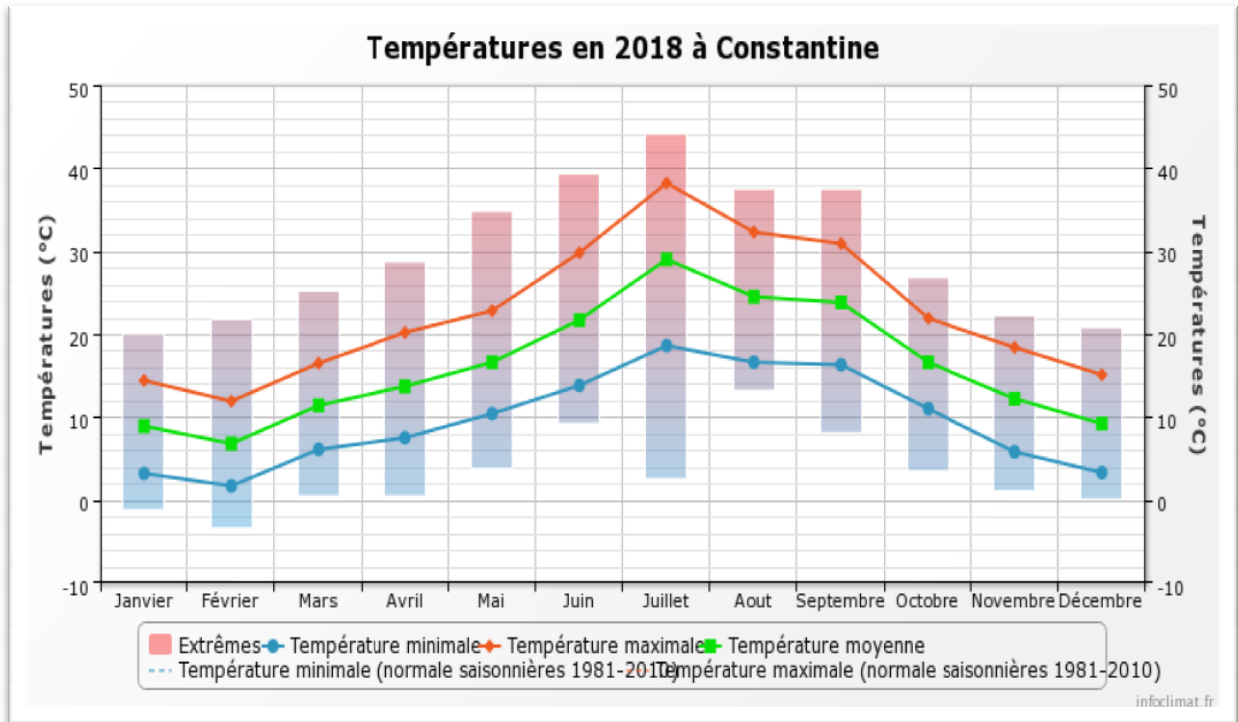


Figure 1: Données des moyennes mensuelles de température à Constantine en 2018

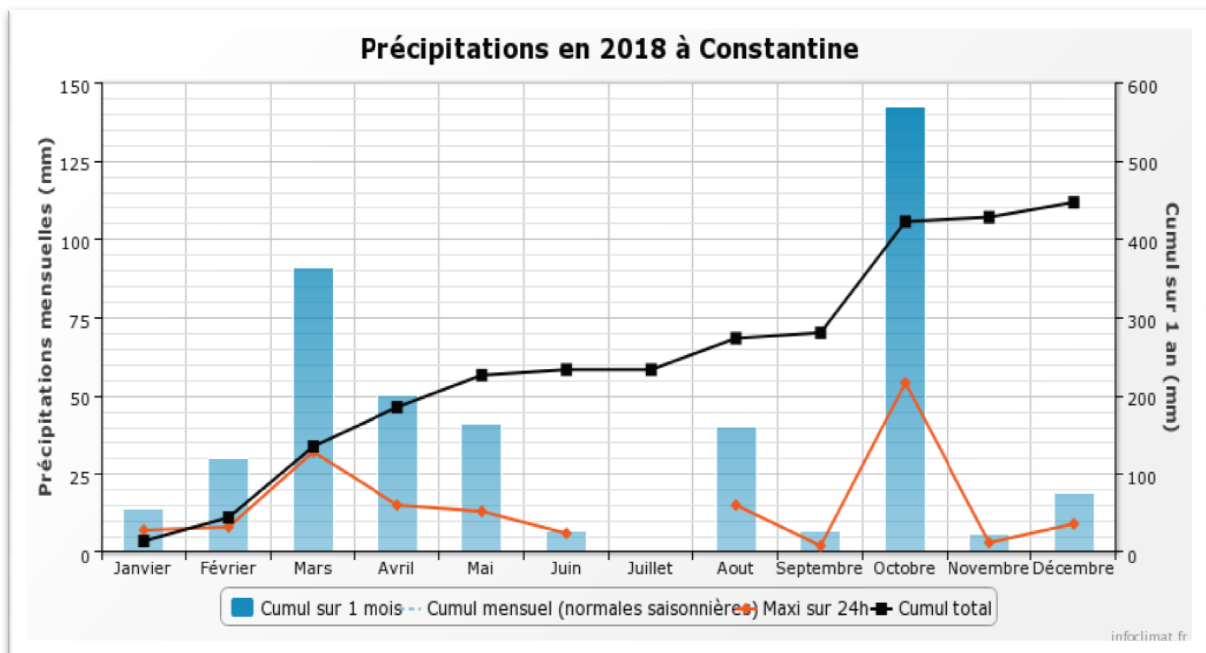


Figure 2: Données des moyennes mensuelles de précipitation à Constantine en 2018

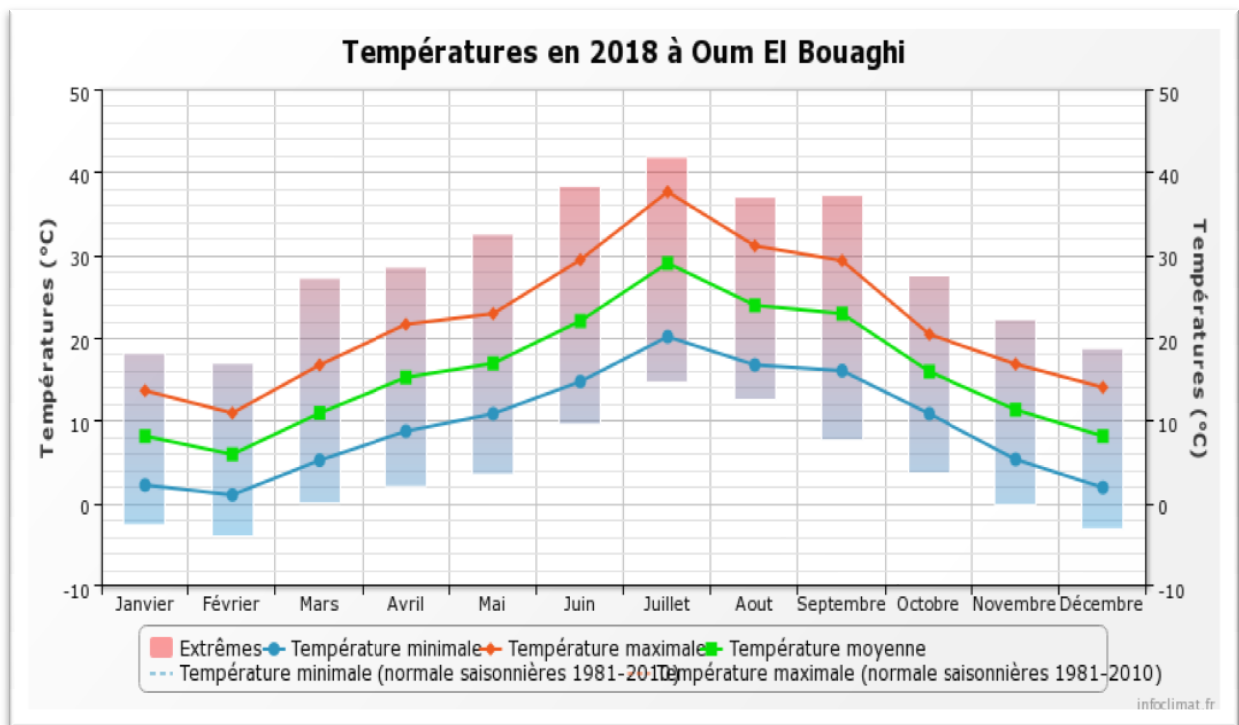


Figure 1: Données des moyennes mensuelles de température à Oum El Bouaghi en 2018

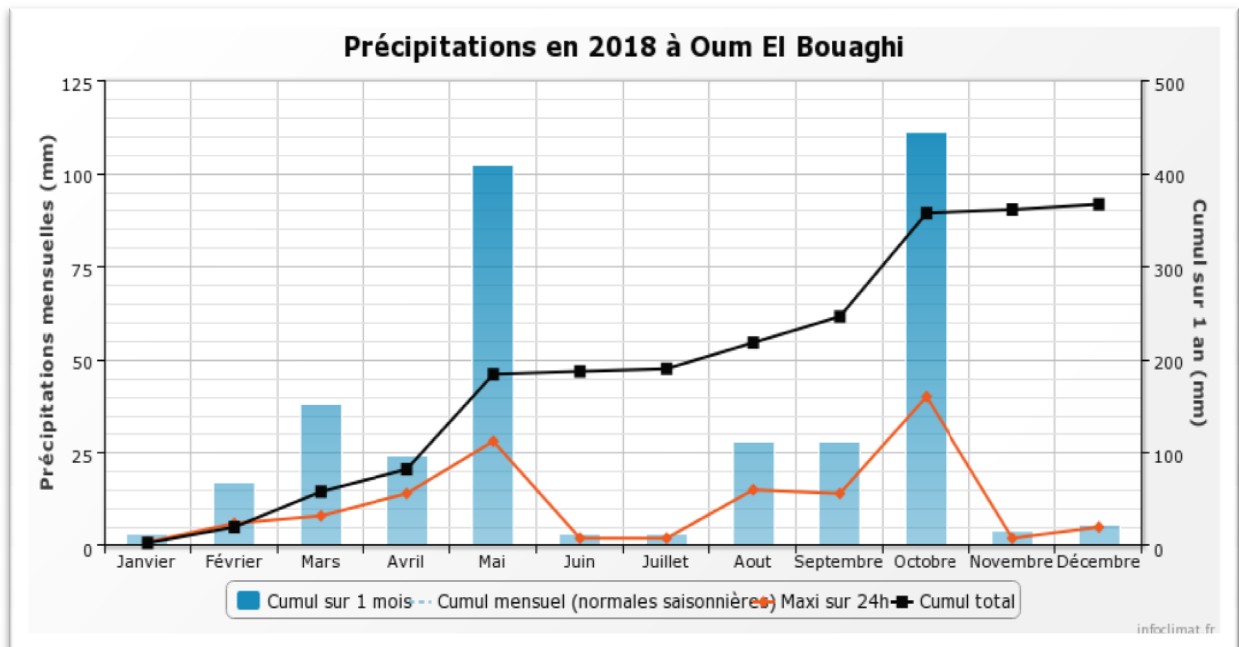


Figure 2: Données des moyennes mensuelles de précipitation à Oum El BOuaghi en 2018

Annexe 05

➤ Tableaux d'analyse de variance « ANOVA » des différents paramètres étudiés :

Tableau 01 : ANOVA de PMG des géotypes testés (Beni Mestina) (2017/2018)

Origine de la fluctuation	Sommes des carrées	Degré de liberté	Variance	F calculé	F théorique		Signification
					1%	5%	
Total	119230.32	79					
Blocs	118334.19	3	39444.73	18.72	4.15	2.77	HS (**)
Traitements	119202.56	19	6273.82	2.97	2.24	3.12	NS
Erreur	120098.69	57	2106.99				

Tableau 02: ANOVA de PMG des géotypes testés (Sigus) (2017/2018)

Origine de la fluctuation	Sommes des carrées	Degré de liberté	Variance	F calculé	F théorique		Signification
					1%	5%	
Total	1368.08	79					
Blocs	9.51	3	3.17	33.94	4.15	2.77	HS (**)
Traitements	1342.02	19	70.63	252.25	2.24	3.12	THS (***)
Erreur	16.47	57	0.28				

C.V= 1.17% / p.p.d.s_{1%}=0.96 / p.p.d.s_{5%}=0.74 / F calculé > F théorique (5%)

Tableau 03: ANOVA du caractère taux de mitadinage des géotypes testé (Beni Mestina)
(2017/2018)

Origine de la fluctuation	Sommes des carrées	Degré de liberté	Variance	F calculé	F théorique		Signification
					1%	5%	
Total	603.94	59					
Blocs	8.15	2	4.075	2.66	5.21	3.25	NS
Traitements	537.38	19	28.28	18.48	2.42	1.86	HS (**)
Erreur	58.41	38	1.53				

C.V=17.39%

p.p.d.s_{1%}= 2.73

p.p.d.s_{5%}=2.04

Tableau 04 : ANOVA du caractère taux de mitadinage des géotypes testé (Sigus)
(2017/2018)

Origine de la fluctuation	Sommes des carrées	Degré de liberté	Variance	F calculé	F théorique		Signification
					1%	5%	
Total	2320.41	59					
Blocs	24.05	2	12.025	4.04	5.21	3.25	S(*)
Traitements	2183.22	19	114.9	38.68	2.42	1.86	HS (**)
Erreur	113.14	38	2.97				

C.V= 13.99%

p.p.d.s_{1%}= 3.79

p.p.d.s_{5%}=2.83

Tableau 05: ANOVA du caractère taux de moucheture des génotypes testés (Beni mestina) 2017/2018

Origine de la fluctuation	Sommes des carrées	Degré de liberté	Variance	F calculé	F théorique		Signification
					1%	5%	
Total	1122.21	79					
Blocs	8.48	3	2.82	1.83	4.15	2.77	NS
Traitements	1026.14	19	54	35.15	2.24	3.12	HS (**)
Erreur	87.59	57	1.536				

C.V=10.72 %

p.p.d.s_{1%}= 2.33

p.p.d.d_{5%}=1.75

Tableau 06: ANOVA du caractère taux de moucheture des génotypes testés (Sigus) 2017/2018

Origine de la fluctuation	Sommes des carrées	Degré de liberté	Variance	F calculé	F théorique		Signification
					1%	2%	
Total	21684.46	79					
Blocs	3.59	3	1.19	0.55	4.15	2.77	NS
Traitements	21557.59	19	1134.61	527.72	2.24	3.12	THS (***)
Erreur	123.06	57	2.15				

C.V= 6.36%

p.p.d.s_{1%}=2.76

p.p.d.d_{5%}=2.07

Tableau 07: ANOVA du caractère taux de gluten humide des génotypes testés (Beni mestina)
2017/20118

Origine de la fluctuation	Sommes des carrées	Degré de liberté	Variance	F calculé	F théorique		Signification
					1%	5%	
Total	352.67	59					
Blocs	0.15	2	0.075	0.097	5.21	3.25	NS
Traitements	323.15	19	17	22.07	2.42	1.86	HS (**)
Erreur	29.37	38	0.77				

C.V= 6.06%

p.p.d.s_{1%}=1.92

p.p.d.s_{5%}=1.43

Tableau 08: ANOVA du caractère taux du gluten humide des génotypes testés (Sigus)
2017/2018

Origine de la fluctuation	Sommes des carrées	Degré de liberté	Variance	F calculé	F théorique		Signification
					1%	5%	
Total	666.25	59					
Blocs	0.01	2	0.005	0.00099	5.21	3.25	NS
Traitements	474.85	19	24.99	4.96	2.42	1.86	S (*)
Erreur	191.39	38	5.03				

C.V =10.55%

P.P.D.S_{1%}= 4.96

P.P.D.S_{5%}=3.70

Tableau 09: ANOVA du caractère taux du gluten sec des génotypes testés (Beni Mestina)

2017/2018

Origine de la fluctuation	Sommes des carrées	Degré de liberté	Variance	F calculé	F théorique		Significatio
					1%	5%	
Total	60.81	59					
Blocs	0.09	2	0.045	0.264	5.21	3.25	NS
Traitements	53.91	19	2.83	16.64	2.42	1.86	HS (**)
Erreur	6.81	38	0.17				

C.V=7.15%

p.p.d.s_{1%}=0.89p.p.d.s_{5%}=1.80**Tableau 10:** ANOVA du caractère taux du gluten sec des génotypes testés (Sigus) 2017/2018

Origine de la fluctuation	Sommes des carrées	Degré de liberté	Variance	F calculé	F théorique		Signification
					1%	5%	
Total	122.74	59					
Blocs	0.28	2	0.14	0.11	5.21	3.25	NS
Traitements	76.66	19	4.03	3.35	2.42	1.86	S(*)
Erreur	45.8	38	1.20				

C.V= 12.84%

p.p.d.s_{1%}= 2.41p.p.d.s_{5%}=1.80

Tableau 11: ANOVA du taux d'humidité des génotypes testés (Beni Mestina) 2017/2018

Origine de la fluctuation	Sommes des carrées	Degré de liberté	Variance	F calculé	F théorique		Signification
					1%	5%	
Total	3.16	59					
Blocs	0.094	2	0.047	3.35	5.21	3.25	S(*)
53Traitements	2.51	19	0.13	9.28	2.42	1.86	HS(**)
Erreur	0.556	38	0.014				

C.V= 0.96%

p.p.d.s_{1%}=0.26

p.p.d.s_{5%}=0.19

Tableau 12: ANOVA du taux d'humidité des génotypes testés (Beni Mestina) 2017/2018

Origine de la fluctuation	Sommes des carrées	Degré de liberté	Variance	F calculé	F théorique		Signification
					1%	5%	
Total	4.43	59					
Blocs	0.01	2	0.005	0.71	5.21	3.25	NS
Traitements	4.15	19	0.21	30	2.42	1.86	HS (**)
Erreur	0.27	38	0.007				

C.V= 0.68%

p.p.d.s_{1%}= 0.18

p.p.d.s_{5%}=0.13

Tableau 13: ANOVA du taux de protéines des géotypes testés (Beni Mestina) 2017/2018

Origine de la fluctuation	Sommes des carrées	Degré de liberté	Variance	F calculé	F théorique		Signification
					1%	5%	
Total	66.85	59					
Blocs	0.17	2	0.085	0.193	5.21	3.25	NS
Traitements	49.06	19	2.58	5.86	2.42	1.86	S(*)
Erreur	16.77	38	0.44				

C.V =4.93%

p.p.d.s_{1%}=1.46

p.p.d.s_{5%}=1.09

Tableau 14: ANOVA du taux de protéines des géotypes testés (Sigus) 2017/2018

Origine de la fluctuation	Sommes des carrées	Degré de liberté	Variance	F calculé	F théorique		Signification
					1%	5%	
Total	17.21	59					
Blocs	0.07	2	0.35	0.875	5.21	3.25	NS
Traitements	15.4	19	0.81	20.25	2.42	1.86	HS (**)
Erreur	1.74	38	0.04				

C.V = 1.32%

p.p.d.s_{1%}=0.43

p.p.d.s_{5%}=0.32

Résumés

Résumé :

L'étude quantitative et qualitative sur une collection de vingt nouvelles variétés de blé dur (*Triticum durum*, Desf.) dont des variétés témoins et des variétés lignées avancées cultivées dans deux environnements contrastés en Algérie, était faite sur des caractères phisico-chimiques et technologiques : rendement en grain, poids de mille grains, taux de mitadinage, de moucheture, d'humidité des grains, de protéines, du gluten humide/sec en plus d'une électrophorèse de protéines totales des grains de blé dur. Les résultats obtenus révèlent une grande variabilité génétique intra et inter-génotypique pour tous les caractères considérés avec une contradiction entre le rendement en grain et la qualité technologique. La majorité des variétés nouvelles ont marquée un bon rendement et une qualité technologique moyennement bonne à acceptable par rapport aux variétés lignées avancées. Ce travail confirme l'effet de l'environnement sur l'expression génotypique décrits antérieurement par plusieurs auteurs. Nos résultats révèlent de très importantes informations sur le comportement des génotypes testés, son aptitude à l'adaptation dans les environnements donnés, sur l'interaction Génotype x Environnement et sur l'expression génotypique. Ce qui peut aider dans les travaux de sélection. Les analyses biochimiques faites, nous ont contribué à caractériser les différents génotypes et à déterminer polymorphisme protéique intéressant. .

ملخص :

أجريت الدراسة الكمية والنوعية على مجموعة من عشرين نوعًا جديدًا من القمح القاسي (*Triticum durum*, Desf.) بما في ذلك أصناف استعملت كشواهد وأنواع النسب المتقدمة من الانتقاء المزروعة في بيئتين متناقضتين في الجزائر، حيث أجريت تحاليل فيزيو- كيميائية وتكنولوجية ل: المحصول الحبي ، وزن ألف حبة ، معدل التلين ، المتحلين ، رطوبة الحبوب ، البروتين ، الغلوتين الرطب / الجاف بالإضافة إلى التحليل الكهربائي للبروتين الكلي للحبوب . تكشف النتائج التي تم الحصول عليها عن تباين وراثي كبير داخلي وخارجي لجميع الصفات التي تم دراستها مع وجود تناقض بين محصول الحبي والجودة التكنولوجية. أظهرت اغلب الأصناف الشاهدة عائدًا جيدًا على غير المتوقع وجودة تكنولوجية متوسطة إلى جيدة مقارنةً بأصناف النسب المتقدمة. كما يؤكد هذا العمل تأثير البيئة على التعبير الوراثي الموصوف سابقا من قبل العديد من المؤلفين. تكشف نتائجنا عن معلومات مهمة للغاية حول سلوك الأنماط الوراثية التي تم اختبارها ، وقدرتها على التكيف في بيئات معينة ، على التفاعل (بيئة x نمط وراثي) وكذا على التعبير الوراثي مما يمكن أن يساعد في اختبارات الانتقاء لأصناف القمح الصلب. التحليلات الكيميائية الحيوية التي أجريت ، ساهمت في توصيف الأنماط الجينية المختلفة وتحديد تعدد الأشكال البروتيني المثير للاهتمام.

Abstract:

The quantitative and qualitative study on a collection of twenty new varieties of durum wheat (*Triticum durum*, Desf.) including control varieties and advanced lineage varieties of the selection grown in two contrasting environments in Algeria, was made on physico-chemical and technological characters: grain yield, thousand-grain weight, moisture, spotting, grain moisture, protein, wet / dry gluten in addition to total grain protein electrophoresis. The results obtained reveal a great intra and inter-genotypic genetic variability for all traits considered with a contradiction between the grain yield and the technological quality. The control varieties showed a good and an attractive yield and medium to good technological quality compared to advanced lineage varieties. This work confirms the effect of the environment on the genotypic expression described earlier by several authors. Our results reveal very important information of the behavior of the genotypes tested, its aptitude for adaptation in given environments, of the Genotype x Environment interaction and of genotypic expression. This can help in the selection work. The biochemical analyzes made, contributed to characterize the different genotypes and to determine its interesting protein polymorphism.

INTITULÉ : Etude de la qualité et du rendement de grain de nouvelles variétés de blé dur (*Triticum durum*, Desf.) cultivées dans deux environnements contrastés en Algérie.

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

Résumé :

L'étude quantitative et qualitative sur une collection de vingt nouvelles variétés de blé dur (*Triticum durum*, Desf.) dont des variétés témoins et des variétés lignées avancées cultivées dans deux environnements contrastés en Algérie, était faite sur des caractères phisico-chimiques et technologiques : rendement en grain, poids de mille grains, taux de mitadinage, de moucheture, d'humidité des grains, de protéines, du gluten humide/sec en plus d'une électrophorèse de protéines totales des grains de blé dur. Les résultats obtenus révèlent une grande variabilité génétique intra et inter-génotypique pour tous les caractères considérés avec une contradiction entre le rendement en grain et la qualité technologique. La majorité des variétés nouvelles ont marquée un bon rendement et une qualité technologique moyennement bonne à acceptable par rapport aux variétés lignées avancées. Ce travail confirme l'effet de l'environnement sur l'expression génotypique décrits antérieurement par plusieurs auteurs. Nos résultats révèlent de très importantes informations sur le comportement des génotypes testés, son aptitude à l'adaptation dans les environnements donnés, sur l'interaction Génotype x Environnement et sur l'expression génotypique. Ce qui peut aider dans les travaux de sélection. Les analyses biochimiques faites, nous ont contribuées à caractériser les différents génotypes et à déterminer polymorphisme protéique intéressant.

Mots clés : Blé dur, qualité technologique, rendement grain, environnement, génotypes, analyses biochimiques, protéines totales

Laboratoire de recherche : Biotechnologie, Biologie moléculaire et Génétique Végétale, Université des frères Mentouri Constantine-1-.

Jury d'évaluation :

Présidente: Mme. KACEM .N. S (MCA- UFM Constantine-1-).
Encadrant: Mr. BENBELKACEM. A (DR- INRAA - Constantine).
Examineur: Mr. KELLOU. K (MA- UFM Constantine-1-).

Date de soutenance : 18 /07/2019