



UNIVERSITY MOHAMED EL BACHIR EL IBRAHIMI
BORDJ BOU ARRERIDJ

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
République Algérienne Démocratique et Populaire
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
جامعة محمد البشير الإبراهيمي برج بوعريريج

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

كلية علوم الطبيعة والحياة وعلوم الارض والكون

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

قسم العلوم الفلاحية

Département des Sciences Agronomiques



UNIVERSITY MOHAMED EL BACHIR EL IBRAHIMI
BORDJ BOU ARRERIDJ

Mémoire

En vue de l'obtention du Diplôme de Master

Domaine : Sciences de la Nature et de la Vie

Filière : Agronomie

Spécialité : Amélioration des plantes

Intitulé

**Etude du comportement variétal du blé tendre
(*Triticum aestivum* L.) vis-à-vis du stress hydrique dans la
région de Sétif**

Présenté par : LAMARA Asma
BENGUEDOUDJ Samira

Soutenu le : 07/07/2019 ;

Devant le jury :

Président :	M ^r MEKHALFI Hamoudi	MCB	Université BBA
Encadrant :	M ^r FELLAHI Zine El Abidine	MCB	Université BBA
Examineur :	M ^{me} TABTI Dahbia	MAB	Université BBA

Année universitaire : 2018/2019

Remerciements

Au nom d'ALLAH, le Clément et le Miséricordieux.

A travers ce mémoire de master, nous tenons à remercier toutes les personnes qui ont eu contribué de près ou de loin à construire ce travail, et à nous former dès notre tendre enfance.

*Nous aimerons d'abord exprimer nos gratitude à notre encadreur **Dr. FELLAHI Zine El Abidine** enseignant à l'université de BBA pour avoir accepté de bon gré de participer à ce mémoire, ainsi que pour ses efforts fournis, pour ses conseils judicieux prodigués et pour sa patience et sa persévérance dans notre suivi, malgré ses charges intenses.*

*Nos profonds remerciements vont aux membres du jury le **Mr. MEKHALFI H.**, et **Mme. TABTI D** qui nous ont fait l'honneur de participer et de juger notre mémoire*

*Nous tenons aussi à remercier le personnel des moulins des hauts plateaux de Sétif en particulier **Mr. ZAGHLAUI Abd El Moumen** responsable du laboratoire de contrôle de qualité pour ses précieux conseils, leur encouragement et leur soutien.*

*Nous adressons également nos remerciements à l'ensemble des cadres de l'INRAA de Sétif et en particulier **Mr. HANNACHI Abd El Rahmane** chercheur au niveau de L'INRAA de Sétif pour son soutien et son aide durant la période du stage.*

Sommaire

Liste des abréviations

Liste des figures et photos

Liste des tableaux

Introduction 1

CHAPITRE I : REVUE BIBLIOGRAPHIQUE

I.1. Origine génétique et géographique du blé tendre.....	3
I.2. Composition du grain.....	4
I.2.1. Structure.....	4
I.2.1.1. Les enveloppes et la couche à aleurone.....	5
I.2.1.2. Le germe.....	5
I.2.1.3. L'Albumen.....	5
I.2.2. Composition biochimique du grain de blé tendre.....	6
I.2.2.1. Amidon.....	6
I.2.2.2. Protéines.....	6
I.2.2.2.1. Classification des Protéines du Grain de Blé tendre.....	6
I.2.2.3. Lipides.....	7
I.2.2.4. Vitamines	7
I.2.2.5. Matières minérales.....	7
I.2.2.6. Enzymes	7
I.3. Importance économique du blé tendre.....	8
I.3.1. Dans le monde.....	8
I.3.2. En Algérie.....	8
I.4. Aire de culture.....	9
I.5. Contraintes de la production.....	9
I.5.1. Contraintes abiotiques	10
I.5.1.1. Stress thermique.....	10
I.5.1.1.1. Basses températures.....	10
I.5.1.1.2. Hautes températures.....	11
I.5.1.2. Stress hydrique.....	11
I.6. Mécanismes d'adaptation.....	12
I.6.1. Adaptation phénologique.....	12
I.6.2. Adaptation Morphologique.....	13

I.6.3.	Adaptation physiologique.....	13
I.6.3.1.	Régulation stomatique.....	13
I.6.3.2.	La teneur relative en eau.....	14
I.6.3.3.	Le maintien de l'intégrité membranaire.....	14
I.6.3.4.	Température de la canopée.....	15
I.6.3.5.	Teneur en chlorophylle.....	16
I.6.3.6.	L'ajustement osmotique.....	16

CHAPITRE II: MATERIEL ET METHODE

II.1.	Appréciation de la qualité technologique des variétés étudiées.....	17
II.1.1.	Site, matériel végétal et dispositif expérimental.....	17
II.1.2.	Analyses effectuées sur la graine de blé tendre.....	18
II.1.2.1.	Détermination de la teneur en eau.....	18
II.1.2.2.	Taux de cendres.....	18
II.1.2.3.	Taux de protéines.....	19
II.1.2.4.	Teneur en gluten.....	19
II.1.2.4.1.	Détermination de gluten humide.....	19
II.1.2.4.2.	Détermination de gluten sec.....	20
II.1.2.5.	Indice de sédimentation (test de ZELENY).....	21
II.1.2.6.	Indice de chute de HAGBERG.....	21
II.1.2.7.	Poids de mille grains.....	22
II.1.2.8.	Rendement en grains.....	22
II.2.	Appréciation de la tolérance au stress hydrique du blé au stage juvénile.....	22
II.2.1.	Objectif.....	22
II.2.2.	Conditions expérimentales.....	22
II.2.3.	Mesures effectuées.....	23
II.2.3.1.	Taux de germination.....	23
II.2.3.2.	Nombre de racines.....	23
II.2.3.3.	Longueur des racines.....	23
II.2.3.4.	Longueur de la coléoptile.....	24
II.2.3.5.	Matière fraîche racinaire et aérienne.....	24
II.3.	Analyse des données.....	25

CHAPITRE III : RESULTATS DISCUSSION

III.1.	Etude de la qualité technologique des variétés étudiées.....	27
III.1.1.	Analyse de la variance.....	27
III.1.2.	Etude des valeurs moyennes.....	27
III.1.2.1.	Poids de mille grains.....	27
III.1.2.2.	Humidité du grain.....	30
III.1.2.3.	Taux de cendres.....	31
III.1.2.4.	Teneur en protéines.....	32
III.1.2.5.	Teneur en gluten humide.....	34
III.1.2.6.	Teneur en gluten sec.....	35
III.1.2.7.	Indice de sédimentation.....	36
III.1.2.8.	Indice de chute.....	37
III.1.2.9.	Rendement en grains.....	38
III.1.3.	Analyse des liaisons inter-caractères.....	40
III.1.4.	Estimation des paramètres génétiques et non génétiques.....	41
III.2.	Etude de la tolérance au stress hydrique des variétés étudiées.....	43
III.2.1.	Analyse de la variance.....	43
III.2.2.	Etude des valeurs moyennes.....	43
III.2.2.1.	Effet moyen 'génotype'.....	43
III.2.2.2.	Effet moyen 'stress'.....	45
III.2.2.3.	Effet de l'interaction 'génotype x stress'.....	48
III.3.	Typologie variétale.....	54

Conclusion

Références bibliographiques

Liste des abréviations

ABA : Acide Abscisique.

CIC : Conseil International du Grain.

CNCC : Centre National de Contrôle et de Certification des semences et plants.

GH : Gluten Humide.

GS : Gluten Sec.

H²_{st}: héritabilité au sens large.

INRAA : Institut National de la Recherche Agronomique d'Algérie.

ISO : International Organization for Standardization.

ITCF : Institut Technique des Céréales et des Fourrages.

LC : Longueur de Coléoptile.

LR : Longueur de la Racine principal.

MFA : Matière Fraîche Aérienne.

MFR : Matière Fraîche Racinaire.

NA : Norme Algérienne.

NGG : Nombre des Graines Germées.

NR : Nombre de Racines.

NTG : Nombre Total des Graines Incubées.

PEG : Polyéthylène Glycol.

PMG : Poids de Milles Grains.

Ppds : plus petite différence significative.

QTL : Quantitative Trait Locus.

SAU : Surface Agricole Utile.

TC : Taux de Cendres.

TRE : Teneur Relative en Eau.

USA : United States of America.

Liste des tableaux

Tableau I : Nom et origine des variétés de blé tendre étudiées.....	17
Tableau II : Echelle de l'indice de chute de HAGBERG.....	21
Tableau III : Carrés moyens de l'analyse de la variance des variables étudiées.....	27
Tableau IV: Valeurs moyennes des variables étudiées.....	28
Tableau V: Coefficients de corrélation phénotypique (en dessus de la diagonale) et génotypique (en dessous de la diagonale) entre les variables étudiées	41
Tableau VI: Paramètres génétiques et non génétiques des variables étudiées.....	41
Tableau VII : Carrés moyens de l'analyse de la variance des variables étudiées.....	43
Tableau VIII : Valeurs moyennes des variables étudiées	44
Tableau IX : Valeurs moyennes de l'effet 'stress' des caractères mesurés chez les variétés évaluées.....	45
Tableau X : Ecart en %des valeurs prises par les variables mesurées chez le blé tendre relativement au témoin.....	49
Tableau XI : Classement des variétés de blé tendre	52
Tableau XII : Valeurs caractéristiques des groupes de variétés de blé identifiés.....	55

Liste des figures et photos

Figure 1 : Structure du grain de blé (Surget et Barron, 2005).....	4
Figure 2 : Protocol expérimental adopté dans cette expérimentation.....	25
Figure 3: Ecarts par rapport à la moyenne du poids de 1000 grains des variétés étudiées.....	29
Figure 4: Ecarts par rapport à la moyenne du taux de cendres des variétés étudiées.....	32
Figure 5: Ecarts par rapport à la moyenne de la teneur en protéines de variétés étudiées.....	33
Figure 6: Ecarts par rapport à la moyenne de la teneur en gluten humide de variétés étudiées.....	34
Figure7: Ecarts par rapport à la moyenne de la teneur en gluten sec de variétés étudiées.....	36
Figure 8: Ecarts par rapport à la moyenne de l'indice de sédimentation des variétés étudiées.....	37
Figure 9 : Ecarts par rapport à la moyenne de l'indice de chute des variétés étudiées.....	38
Figure 10: Ecarts par rapport à la moyenne du rendement en grains des variétés étudiées.....	39
Figure 11 : Réduction en %, relativement au témoin T0, des valeurs prises par les variables mesurées chez les variétés de blé étudiées.....	46
Figure 12 : Somme des rangs des variétés de blé tendre évaluées.....	53
Figure 13 : Groupage des variétés de blé tendre évaluées.....	54
Photo 1 : L'INFRAMATIC utilisé pour obtenir l'indice de sédimentation.....	19
Photo 2 : Formation de pâton (à gauche) et lixiviation manuelle de l'échantillon sous un mince filet d'eau (à droite).....	19
Photo3 : Le Glutock utilisé pour obtenir le gluten sec	20
Photo4 : Le HAGBERG utilisé pour obtenir l'indice de chute.....	20

INTRODUCTION

Introduction

La culture des céréales est la spéculation prédominante de l'agriculture algérienne (Laala *et al.*, 2009). Elle est pratiquée notamment dans les zones arides et semi-arides sur une superficie annuellement emblavées d'environ 3.3 millions d'hectares (INRAA, 2016). Parmi les céréales, le blé tendre occupe une place de choix dans l'alimentation des populations algériennes. Sa production reste très marginale et ne dépasse pas les 1.02 millions de tonnes (Fellahi, 2017).

La faiblesse de la production est associée à de nombreux facteurs d'ordre biotiques et abiotiques qui limitent l'expression d'un tel génotype dans ces environnements de production. En plus de ces facteurs, d'autres inconvénients d'ordre technique (travail du sol, fertilisation, mauvaises herbes, mécanisation, ...etc.) sont à l'origine de la faiblesse de la production (Hannachi *et al.*, 2013).

Le manque d'eau est le facteur le plus limitant de la production céréalière sur les Hautes Plaines Sétifiennes (Chennafi *et al.*, 2006). Au cours du cycle de la culture, le caractère intermittent des pluies, associé à une demande climatique élevée engendrent un stress hydrique qui a des conséquences négatives sur le niveau et la régularité des rendements (Haddad *et al.*, 2016).

Plusieurs alternatives sont offertes pour augmenter la production nationale et satisfaire les besoins d'une population sans cesse croissante. L'extension des superficies est un choix déjà écopulé, l'irrigation n'est plus possible à grande échelle vue la rareté de l'eau suscitée signalée. L'amélioration de l'itinéraire technique est aussi faisable notamment chez les agriculteurs à faible niveau de technicité. La sélection de variétés productives reste une alternative inévitable.

L'amélioration génétique du blé tendre en zones sèches reste basée sur la recherche d'une meilleure adaptation de la plante à la variabilité du milieu de production (Fellahi *et al.*, 2013). Cette amélioration exige d'étudier, d'identifier et de vérifier les caractères phénologiques, morpho physiologiques et biochimiques liés au rendement en condition de stress hydrique (Pfeiffer *et al.*, 2000 ; Reynolds et Langridge, 2016).

La sélection pour la productivité est plus aisée, elle est basée sur le rendement ou sur la base de ses composantes (Salmi *et al.*, 2015). L'efficacité de la sélection peut être augmentée si des caractéristiques physiologiques et/ou morphologiques liées au rendement en grains peuvent être identifiées et utilisées comme des critères de sélection indirecte (Mazouz *et al.*, 2017 ; Fellahi *et al.*, 2018).

Dans un programme d'amélioration génétique de blé donné, le choix adéquat des parents à croiser est d'une importance primordiale (Fellahi *et al.*, 2013 ; Hannachi *et al.*, 2013). L'analyse des aptitudes à la combinaison est la plupart du temps employée pour déterminer le potentiel génétique des lignées parentales et d'identifier celles qui présentent de bonnes aptitudes à la combinaison. Ces dernières peuvent être hybridées pour développer des cultivars accumulant les effets génétiques fixables (Fellahi, 2013). Cette activité peut être inscrite dans le cadre d'un programme de présélection qui fournit le moyen d'identifier et transférer les caractéristiques et/ou les gènes souhaitables de matériel adapté et/ou non adaptés dans un matériel génétique que les sélectionneurs peuvent utiliser ultérieurement pour produire de nouvelles variétés (Kumar et Shukla, 2014).

Le présent travail a pour objectif d'étudier la variabilité phénotypique des caractères liés à la tolérance des stress abiotiques, dont le stress hydrique et le stress thermique, chez 34 variétés de blé tendre (*Triticum aestivum* L.) évaluées sous un régime pluviométrique semi-aride. Afin d'identifier les génotypes qui pourraient être utilisées comme des géniteurs dans les futurs programmes d'amélioration.

Notre mémoire s'articule, en plus de l'introduction et la conclusion, sur trois chapitres principaux. Le premier chapitre sera consacré aux généralités sur la culture de blé tendre, les contraintes de production, les mécanismes d'adaptation aux stress abiotiques, ainsi que les possibilités d'amélioration. Le second chapitre porte sur la description de la méthodologie de travail adoptée d'une manière détaillée. Le troisième chapitre est réservé à la présentation des résultats obtenus, leurs discussion et interprétation. la conclusion résumera les différents résultats et les perspectives du présent travail.

CHAPITRE I

REVUE BIBLIOGRAPHIQUE

I. Revue bibliographique

I.1. Origine génétique et géographique du blé tendre

Le blé est une monocotylédone qui appartient au genre *Triticum*, tribu des *Triticées* au sein de la famille des *Poaceae* et plus largement au groupe des angiospermes monocotylédones (Bolot *et al.*, 2009). C'est une céréale dont le grain est un fruit sec et indéhiscent, appelé caryopse, constitué d'une graine et de téguments (Feuillet, 2000).

L'aire d'origine des blés est le proche Orient, dans la zone dite du Croissant fertile, l'Irak, la Syrie et la Turquie (Baldy, 1986). La diffusion du blé vers l'Europe, l'Asie et l'Afrique du Nord est très ancienne. Le blé tendre (*Triticum aestivum*) est apparu il y a 7000 à 9500 ans, probablement par la domestication des blés (Nesbitt et Samuel, 1995). Les botanistes classent le blé tendre dans le groupe des blés hexaploïdes ($2n = 42$) (Bonjean, 2001). Le blé hexaploïde *Triticum aestivum* à génome (BBAADD) est très vraisemblablement apparu seulement après la domestication des blés diploïdes et tétraploïdes (Chantret *et al.*, 2005).

Le génome actuel du blé tendre provient de 2 événements majeurs d'hybridations successives. Un premier événement résultant du croisement entre deux espèces diploïdes ($2n=14$), *Triticum urartu* (AA) et une espèce proche d'*Aegilops sepltoïdes* (BB), a permis l'apparition du blé dur sauvage (*Triticum turgidum ssp dicoccoïdes*) au génome AABB, à l'origine du blé dur actuel *Triticum durum*. Un second croisement entre le tétraploïde *Triticum turgidum* et le diploïde *Triticum tauschii* (aussi appelé *Aegilops tauschii* ou *Aegilops squarosa*, génome DD) a conduit à l'obtention de blés hexaploïdes tels que le blé tendre (*Triticum aestivum*) et l'épeautre (*Triticum spelta*) (Bednarek, 2012). Le génome de *Triticum aestivum* a une taille de 17 milliards de paires de bases, organisé en trois séries de 7 chromosomes appartenant aux génomes A, B et D soit 42 chromosomes au total (Paux *et al.*, 2008).

En Algérie, Léon Ducellier (1878-1937) en particulier, parcourant le blé, fit au début du siècle le recensement d'une flore mal connue. Il découvrit et analysa les nombreuses variétés, qui peuplaient les champs cultivés, recueillit les échantillons les plus caractérisés, les plus productifs, les plus résistants à la sécheresse ou à quelques maladies. Le blé tendre était inconnu en Afrique du Nord avant l'arrivée des français (Lery, 1982). Les blés ont d'abord évolué en dehors de l'intervention humaine, puis sous la pression de sélection qu'ont exercée les premiers agriculteurs (Henry et de Buyser, 2001).

I.2. Composition du grain

I.2.1. Structure

Le grain de blé est constitué de 3 grandes parties : le germe, l'albumen et les enveloppes (Figure 1). Il est constitué majoritairement d'amidon qui représente environ 70% de la matière sèche du grain et situé dans l'albumen. Les protéines représentent entre 10 et 15% de la matière sèche et se retrouvent dans tous les tissus du grain de blé avec une concentration plus importante dans le germe et la couche à aleurone (Pomeranz, 1988). Les pentosanes (polysaccharides non amylicés) représentent quant à eux entre 2 et 3% de la matière sèche et sont les principaux constituants (70 à 80%) des parois cellulaires de l'albumen (Kara, 2015)

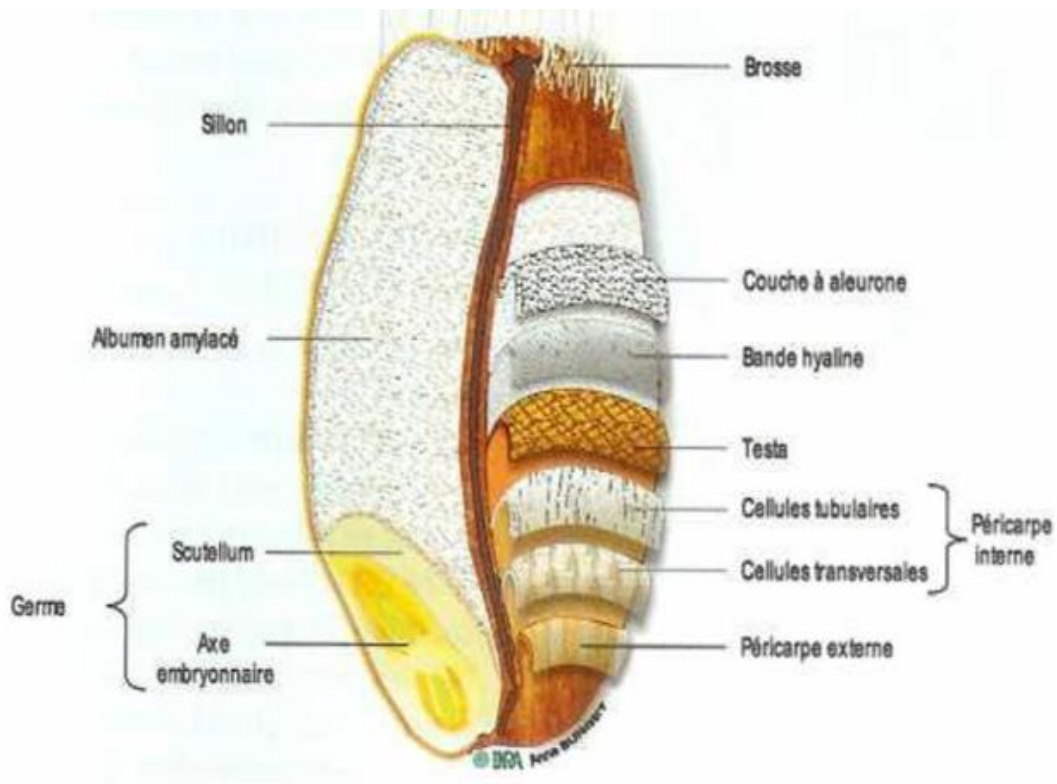


Figure 1 : Structure du grain de blé (Surget et Barron, 2005).

D'un point de vue morphologique, le grain de blé a une forme ovoïde et présente sur la face ventrale un sillon qui s'étend sur toute la longueur. A la base dorsale du grain, se trouve le germe qui est surmonté par une brosse. Le grain de blé mesure entre 5 et 7 mm de long, et entre 2.5 et 3.5 mm d'épaisseur, pour un poids compris entre 20 et 50 mg. Le grain est constitué de différentes couches. De la surface externe vers le centre du grain, on trouve l'enveloppe du fruit ou péricarpe, puis l'enveloppe de la graine ou testa, et enfin, à l'intérieur de la graine, la bande hyaline, l'albumen et le germe (Surget et Barron, 2005).

I.2.1.1. Les enveloppes et la couche à aleurone

Elles sont composées principalement de polysaccharides mais aussi d'acides phénoliques de lignine et de protéines (principalement albumines et globulines localisées dans la couche à aleurone). Le péricarpe externe est constitué de 45% d'arabinoxylane, 25% de glucose, 10% de lignine et 6-7% de protéines (Pomeranz, 1988 ; Surget et Barron, 2005). Il permet d'éviter les pertes d'eau durant le développement du grain mais n'empêche pas sa pénétration (Evers *et al.*, 1999).

Une seule couche à aleurone entoure l'albumen amylicé chez le blé. Elle est, avec le germe, la seule partie du grain constituée de cellules vivantes riches en vitamines : B1, B2, B3, B6, B9 et E et en minéraux : P, K, Mg, Mn et Fe (Pomeranz, 1988 ; Antoine *et al.*, 2002 ; Mc Kevith, 2004). La couche à aleurone a, par sa richesse en métabolites, un rôle nourricier et par sa structure un rôle de protection

I.2.1.2. Le germe

Le germe provient de la fusion des gamètes mâles et femelles. Il est constitué, d'une part, de l'axe embryonnaire qui donne la tigelle, le mésocotyle et la radicule et, d'autre part, du scutellum qui donne le cotylédon (Evers et Millar, 2002 ; Surget et Barron, 2005). Le germe est la partie du grain où le taux d'humidité et la concentration en lipides sont les plus importantes (Pomeranz, 1988). Les protéines dans le germe sont des albumines et des globulines et représentent environ 35% de la matière sèche.

I.2.1.3. L'Albumen

L'albumen constitue le plus important compartiment du grain et représente environ 80% de son poids (Pomeranz, 1988). Il correspond au tissu de réserve. L'albumen amylicé est essentiellement constitué des granules d'amidon enchâssés dans une matrice protéique composée en grande partie de prolamines (gliadines, gluténines de hauts et faibles poids moléculaires) mais aussi d'albumines et de globulines. Ces deux familles protéiques, gluténines et gliadines, sont hydrolysées lors de la germination et du développement de la plantule par les enzymes produites dans l'embryon et la couche à aleurone. Elles constituent la source d'acides aminés nécessaires à la germination de la graine (Surget et Barron, 2005).

I.2.2. Composition biochimique du grain de blé tendre

I.2.2.1. Amidon

L'amidon est le principal polysaccharide de réserve des végétaux supérieurs, le grain de blé et l'albumen en contiennent respectivement 67-68% et 78-82%. C'est l'un des polymères fonctionnels les plus importants des aliments en raison de son pouvoir gélifiant et fixateur d'eau. L'amidon de blé est constitué de granules de type A (80-90% en poids et 15-20% en nombre), les plus gros (20-25 µm) et lenticulaires, et de granules de type B, plus petits (2- 10 µm) et sphérique (Feuillet, 2000).

I.2.2.2. Protéines

Les grains de blé renferment un grand nombre de protéines : des protéines de structure, des protéines biologiques actives et des protéines de réserve. Ces protéines ne sont pas réparties dans le grain de blé uniformément, elles sont surtout localisées dans le germe et l'assise protéique (Surget et Barron, 2005). Les protéines sont les seuls composés responsables à la fois de l'extensibilité, ténacité, élasticité et cohésion de la pâte. Parmi les différents types de protéines du blé, le gluten est le plus important tant du point de vue quantitatif (80-85% des protéines totales) que technologique (Benhania, 2013).

I.2.2.2.1. Classification des Protéines du Grain de Blé tendre

Osborne a été le premier à s'intéresser à la classification des protéines du grain de blé. Il définit quatre groupes de protéines caractérisés par leur solubilité dans différents types de milieux (Osborne, 1924).

- ✓ Les albumines solubles dans l'eau ;
- ✓ Les globulines solubles dans les tampons salins ;
- ✓ Les gliadines solubles dans une solution d'alcool à 70% ;
- ✓ Les gluténines solubles dans une base ou un acide ou des détergents en présence d'un réducteur.

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

- ✓ Les protéines métaboliques (fonctionnelles) : les albumines et globulines, les amphiphiles
- ✓ Les protéines de réserves (protéines du gluten) : les gliadines et les gluténines. Ces protéines de réserve sont synthétisées dans la graine et stockées dans l'albumen, qui

agit comme puit pour stocker le surplus d'azote de la plante en protéines (Popineau 1985).

Elles sont accumulées dans les graines matures et forment des agrégats appelés corps d'inclusion ou « protéine bodies » (Shewry *et al.*, 1995)

I.2.2.3. Lipides

Les lipides représentent une classe complexe hétérogène de constituants, que nous définirons comme étant insolubles dans l'eau et solubles dans les solvants organiques (chloroforme, éther, benzène etc.). Ils sont constitués de longues chaînes hydrocarbonées et contiennent un ou plusieurs acides gras ou des dérivés d'acides gras. Les lipides sont des constituants mineurs du blé puisqu'ils ne représentent en poids qu'entre 1,5 et 2,5 % (Daniels *et al.*, 1971), Cette faible quantité, est d'un intérêt particulier parce qu'elle modifie l'attitude des autres constituants. Le grain de blé est riche en acides gras saturés, localisés dans le germe (15%) et les enveloppes (12%) (Calvel, 1980).

I.2.2.4. Vitamines

Localisées surtout dans le germe, leur répartition varie selon le sol, le climat et la variété du blé. On retrouve surtout les vitamines : B1, B2, B5, PP, B6 et E. Les variations dues aux traitements technologiques sont beaucoup plus marquées parce que certaines vitamines sont très sensibles à la chaleur (Godon, 1995).

2.2.5. Matières minérales

Tous les éléments minéraux sont présents dans le grain à des proportions très différentes : 75% de Potassium (300-600 mg/100 g de matière sèche), le Phosphore (200-500 U) dont la majeure partie se trouve sous forme de phytate, le Souffre (100-250 U), Magnésium (100-150 U), Chlore (50-150 U) et Calcium (25-100 U). Les éléments minéraux n'existent pas à l'état libre mais à l'état combiné. Le blé peut être plus ou moins riche en minéraux selon le sol, le climat, la fumure et même l'année (Godon, 1995).

2.2.6. Enzymes

Elles sont présentes en faible quantité dans le grain, les plus importantes sont :

- ✓ Les protéases trouvées en quantité relativement faible.
- ✓ Les amylases : sont des hydrolases capables de dégrader spécifiquement les liaisons glucidiques de l'amidon (amylose et amylopectine) (Adrian et Poiffait, 1996).

- ✓ La lipase : est une enzyme lipolytique concentré dans la couche à aleurone et augmente au cours de germination

I.3. Importance économique du blé tendre

I.3.1. Dans le monde

Le blé tendre est l'une des premières plantes domestiquées par l'homme, il est largement cultivé dans le monde (Xiaojie *et al.*, 2012). Cette culture représente plus de 90% de la production mondiale des blés (Ghennai *et al.*, 2017). Le blé tendre est principalement utilisé pour faire du pain, des nouilles, des biscuits et des gâteaux (Lopes *et al.*, 2012).

Selon le Conseil International du Grain (CIC, 2016), la production mondiale du blé tendre est passée, de 611 à 736 millions de tonnes, au cours de la période allant de 2007-08 à 2015-16. Ce niveau de production dépasse largement les besoins de la population mondiale avec des stocks en hausses (CIC, 2016). La Chine, l'Union Européenne, l'Inde, la Russie et les USA sont les plus gros producteurs de blé tendre. Les pays exportateurs sont les USA, le Canada et l'Union Européenne ainsi que la Russie. Les gros importateurs sont la Chine et l'Egypte (CIC, 2016). L'Afrique participe pour 25% à la production mondiale du blé tendre (CIC, 2016)

I.3.2. En Algérie

Les céréales et leurs dérivés constituent l'épine dorsale du système alimentaire algérien (Djermoun, 2009 ; Boukarboua et Boulkroun, 2016). Le blé tendre représente 60% de la ration alimentaire du citoyen algérien, et ses habitudes alimentaires (pâte, biscuit, pain) font de lui un grand consommateur de cette denrée (Bengriche et Tiliouine, 2017).

La production algérienne en blé tendre reste très faible. Elle a atteint, au cours de la campagne 2014-15, les 0,63 millions de tonnes (INRAA, 2016). Du point de vue productivité, le rendement moyen de blé tendre enregistré au cours de la campagne 2014-15 est de 1,26 t/ha (INRAA, 2016). La variation des rendements des céréales des zones semi-arides tire son origine en grande partie des effets de ces contraintes abiotiques (Bouzerzour *et al.*, 1994).

Actuellement, l'Algérie est un grand importateur de blé notamment le blé tendre (Djermoun, 2009) et se trouve dépendante du marché international. Cette situation risque de se prolonger à plusieurs années, faute de rendements insuffisants et des besoins de consommation sans cesse croissants devant une forte évolution démographique (Chellali, 2007 ; Benseddik, 2017).

I.4. Aire de culture

En Algérie, on distingue trois zones céréalières en fonction des quantités de pluie reçues au cours de l'année et des quantités de céréales (Boufenar-Zaghouane et Zaghouane, 2006) :

- ✓ **Une zone à hautes potentialités** : dont la pluviométrie moyenne est supérieure à 500 mm/an, avec des rendements moyens de 20 qx/ha (plaines de l'Algérois et de la Mitidja, bassin des Issers, vallées de la Soummam et de l'Oued El Kébir).
- ✓ **Une zone à moyennes potentialités** : caractérisée par une pluviométrie supérieure comprise entre 400 et 500 mm/an mais sujette à des crises climatiques élevées, les rendements peuvent varier de 5 à 15 qx/ha (coteaux de Tlemcen, vallées du Chélif, massif de Médéa...). La zone englobe une SAU de 1 600 000 ha, dont moins de la moitié est réservée aux céréales.
- ✓ **Une zone à basses potentialités** : caractérisée par un climat semi-aride, située dans les hauts plateaux de l'Est et de l'Ouest et dans le Sud du Massif des Aurès. La moyenne des précipitations est inférieure à 350 mm par an. Ici, les rendements en grains sont le plus souvent inférieurs à 8 qx/ha. La SAU de la zone atteint 4,5 millions d'ha, dont près de la moitié est emblavée chaque année en céréales.

Les superficies réservées au blé tendre sont localisées sur les plaines intérieures et les hauts plateaux avec une large gamme de variétés anciennes et améliorées dont Hidhab (HD₁₂₂₀), Arz, Anza, Mahon-Démias, Ain Abid, El Wifak, Boumerzoug, Djanet, Boumerzoug et Akhamokh (Fellahi, 2017).

I.5. Contraintes de la production

En zones semi-arides des Hauts Plateaux, la culture de blé est confrontée à plusieurs contraintes d'ordre biotiques et surtout abiotiques qui limitent fortement le potentiel de production (Annichiarico *et al.*, 2005, 2006 ; Nouar *et al.*, 2012 ; Bendjama *et al.*, 2014 ; Haddad *et al.*, 2016 ; Fellahi *et al.*, 2017 ; Hannachi *et al.*, 2017 ; Salmi *et al.*, 2019 ; Fellahi *et al.*, 2019). Parmi les stress abiotiques qui caractérisent ces milieux de culture figure les stress, hydrique et thermique qui sont considérés comme les facteurs les plus importants limitants la production de cette espèce (Chaves *et al.*, 2002 ; Passioura, 2006 ; Tuberosa et Salvi, 2006)

En plus les aléas climatique, l'instabilité de la production est également imputée à d'autre facteur comme ou en citant, l'itinéraire technique qui n'est

pas toujours ce qu'il devrait être, en termes de dates de semis, de densités de semis, de fertilisation et de désherbage (Djenane, 1998)

I.5.1. Contraintes abiotiques

En milieux variables la plante est le plus souvent soumise à une série de contraintes de nature abiotique qui réduisent sa capacité de reproduction (Djekoun et Ykhlef, 1996). Les plus importantes de ces contraintes sont le manque d'eau et les hautes températures de fin de cycle. Les stress hydriques et thermiques sont des phénomènes complexes de par la variation de leur intensité et durée. Ils endommagent irréversiblement, selon le stade végétatif, la fonction ou le développement d'une partie ou de la totalité d'une plante (Fellahi *et al.*, 2017). Les stress se traduisent chez les plantes par des changements morphologiques, physiologiques et moléculaires qui affectent leur croissance et leur productivité (Wang *et al.*, 2003).

I.5.1.1. Stress thermique

La température est un important facteur qui détermine le rythme de développement et donc la durée des phases végétatives de la plante (Hannachi, 2013). La vitesse de développement de la plante dépend des unités de chaleurs accumulées, ces besoins varient avec la localité, la date de semis et la variété (Boulgheb, 2008). Les besoins en températures pour tout le cycle du blé tendre varient entre 1900 et 2400 °C jours (Jamieson *et al.*, 2000). La température moyenne optimale pour la croissance et le développement du blé se situe entre 15 et 18 °C. 20°C étant la température optimale pour le remplissage des grains. Des températures au-dessous et au-dessus de ces seuils sont largement présentes dans les environnements où la culture de blé est pratiquée (Fellahi, 2017).

I.5.1.1.1. Basses températures

En Algérie les gelées tardives touchent les céréales vers la fin du mois d'Avril et le début du mois de Mai, au stade floraison et provoquent l'avortement des fleurs (Kolai, 2008). Au cours du cycle végétatif de la céréale, certains stades végétatifs sont particulièrement plus sensibles à ce stress par rapport à d'autres (Gate *et al.*, 1996). Au stade levé, le gel peut provoquer des dégâts sur la plantule, dont la rupture du rhizome qui supprime l'enracinement et l'alimentation et aussi provoque la nécrose des tissus (Soltner, 2005). Elles peuvent détruire tous les épillets touchés qui ne développent pas et ne forment pas de fleurs ils, restent stériles et les dégâts ne peuvent être visibles qu'à partir de

l'épiaison et se caractérisent par des épis fluettes et blanchâtres (Abbassenne, 1997 ; Mekhlouf *et al.*, 2006)

Pour réduire les risques de baisse de rendement en grains liés aux effets du gel tardif, la tolérance aux basses températures est fortement recherchée (Mekhlouf *et al.*, 2001 ; Annichiarico *et al.*, 2005).

I.5.1.1.2. Hautes températures

Les températures extrêmement élevées réduisent les majeures fonctions physiologiques de la plante, résultant des dommages de l'appareil photosynthétique (Van Hasselt et Van Berlo, 1980). Le blé tendre est une espèce très sensible aux températures élevées, les effets varient en fonction du stage végétatif de la plante. Une température élevée durant la montaison limite aussi, le nombre de talles épi (Soltner, 1990), des températures excédant les 30°C, au cours e la floraison, peuvent causer la stérilité complète du pollen (Saini et Aspinal, 1982).

Une chaleur excessive agit sur la plante en affectant une accélération de la sénescence foliaire, un raccourcissement de la phase de remplissage du grain, une réduction du poids de 1000 grains et du nombre de grains /m². La résultante est un effet négatif sur la productivité globale de la plante et la qualité du produit final (Fellahi, 2017). Au stade laiteux pâteux, l'effet pénalisant de ce stress se manifestent à une température qui dépasse 30 °C (Kolai, 2008). La tolérance au stress thermique est étroitement liée à l'alimentation de la plante en eau, elle dépend également d'autres caractères morphologiques tels que la structure de la feuille et le nombre et dimension des stomates (Diehl, 1975).

I.5.1.2. Stress hydrique

La céréaliculture algérienne est de type pluvial et est soumise à de fortes contraintes abiotiques (Makhlouf *et al.*, 2012 ; Belagrouz, 2013). Le déficit hydrique constitue le principal facteur limitant (Badrani, 2004 ; Chennafi *et al.*, 2006), non seulement par le manque de précipitations, mais aussi par la mauvaise répartition spatiotemporelle des pluies pendant l'année. En agriculture, la sécheresse est définie comme un déficit marqué et soutenu des précipitations qui réduit significativement les produits agricoles (Labdelli, 2012). Elle s'installe à partir du moment où les besoins en eau de la plante sont supérieurs aux quantités disponibles (Kara, 2015).

Le manque d'eau se traduit par une série de modification qui touche les caractères morphologiques, physiologiques et biochimiques (Mefti *et al.*, 2000). Il s'exprime en

premier lieu au niveau des feuille, et s'étend par la suite vers la tige et les racines (Hacini, 2014). Chez le blé le déficit hydrique agit sur les trois principales composantes du rendement : le nombre d'épi, grains par épis et le poids de 1000 grains (Debaeke *et al.*, 1996 ; Semcheddine, 2011)

L'effet du stress dépend de son degré, sa durée, le stade de développement de la plante, le génotype et son interaction avec l'environnement (Foudili et Gasmi, 2017). Un déficit hydrique au stade montaison réduit la vitesse de croissance des cellules de la tige (Benderradji, 2013) et provoque une diminution du nombre de talles fertiles dont la conséquence est une réduction du nombre de grains / m² (Loucif et Mahmoudi, 2018). Au stade floraison, la sécheresse réduit le nombre de fleurs fertiles par épillet (Debaeke *et al.*, 1996). Au cours du remplissage des grains, le manque d'eau a pour conséquence une réduction de la taille des grains (échaudage), réduisant ainsi le rendement final (Gate *et al.*, 1993).

I.6. Mécanismes d'adaptation

La tolérance d'une plante à une contrainte hydrique peut être définie, du point de vue physiologique, par sa capacité à survivre et à croître et, du point de vue agronomique, par l'obtention d'un rendement plus élevé que celui des plantes sensibles (Slama *et al.*, 2005). Il existe une large gamme de mécanismes de tolérances à la sécheresse qui ne sont pas exclusifs les uns des autres et qui peuvent même être complémentaires (Jones *et al.*, 1980). Ces mécanismes sont d'ordre phénologiques, morphologiques et physiologiques qui confèrent une certaine régularité à la production en milieux variables (Bachtarzi et Bensaad, 2015 ; Oulmi *et al.*, 2016).

6.1. Adaptation phénologique

Pour éviter les périodes difficiles pour la croissance et le développement, certaines variétés accomplissent leur cycle de développement avant l'installation de la contrainte hydrique (Saraoui, 2011 ; Bouatrouse, 2013 ; Foudili et Gasmi, 2017). La précocité constitue, de ce fait, un important mécanisme d'esquive du déficit hydrique de fin de cycle (Reynolds *et al.*, 2005 ; Mekhlouf *et al.*, 2006). Dans ces conditions, les paramètres phénologiques d'adaptation ou paramètres de précocité définissent le calage du cycle vis-à-vis des contraintes environnementales (Ben Naceur *et al.*, 1999). La précocité assure une meilleure efficacité de l'utilisation de l'eau (Ferras, 2015). En effet, en produisant la biomasse la plus élevée, les génotypes à

croissance rapide et à maturité précoce utilisent mieux l'eau disponible et ils sont moins exposés aux stress environnementaux que les génotypes tardifs (Bajji, 1999).

Le rendement en grains est négativement corrélé à la durée du cycle végétatif (Gonzalez *et al.*, 1999). Les variétés qui ont une vitesse de croissance élevée ont la capacité de mieux utiliser sources nutritives à la fin du cycle de développement lorsque celles-ci deviennent limitantes (Poorter, 1989). La précocité peut donc être utilisée comme critère de sélection de choix pour améliorer la production dans les zones sèches comme signalé par Ali Dib *et al.* (1992) et Ben Salem *et al.* (1997).

I.6.2. Adaptation Morphologique

L'adaptation peut prendre forme, suite à des modifications d'ordre morphologiques pour améliorer l'absorption de l'eau, et/ou diminuer la transpiration et la compétition entre organes pour les assimilés produits. Ainsi certaines variétés réduisent de la surface foliaire et le nombre de talles, pour ajuster leur consommation en eau. Elles sont dites plantes économes (Slafer *et al.*, 2005). D'autres possèdent la capacité d'enrouler le limbe foliaire pour minimiser la transpiration et réduire l'effet du stress lumineux (Oulmi *et al.*, 2019). D'autres variétés investissent dans le développement d'un système racinaire profond, pour avoir accès à des horizons plus humides, et ainsi elles s'assurent une meilleure alimentation hydrique. Ces plantes sont dites dépensières en eau (Slafer *et al.*, 2005). La longueur des barbes est considérée aussi comme un paramètre morphologique qui peut améliorer le rendement en conditions de sécheresse par augmentation de la surface photosynthétique de l'épi (Bouatrouse, 2013).

I.6.3. Adaptation physiologique

La recherche sur la tolérance physiologique aux stress a pour objectif d'améliorer les capacités génétiques de production des plantes sous des conditions qui sont amenuisant l'expression du potentiel des sujets.

I.6.3.1. Régulation stomatique

La diminution du potentiel hydrique du sol en conditions de sécheresse provoque une perte importante de la turgescence au niveau de la plante (Henchi, 1987 ; Benderradji *et al.*, 2010). L'augmentation de la production, dans ces conditions, dépend des mécanismes de tolérance qui assurent l'hydratation cellulaire et diminuent la perte en eau (Bouatrous *et al.*, 2009). Le stress hydrique provoque la mise en place d'un état de

régulation hydrique de la plante qui se manifeste par la fermeture stomatique et par une régulation du potentiel osmotique (Brisson *et al.*, 1985).

Le déficit hydrique s'accompagne en plus de la perte de turgescence des cellules, d'une fermeture des stomates qui est une réponse automatique dont le but est de minimiser les pertes d'eau par transpiration (Gueraiche, 2016). Le signal déclenchant le contrôle stomatique est initié par l'accumulation de l'hormone végétale, l'acide Abscissique (ABA). Cette hormone est synthétisée au niveau des racines, organes qui perçoivent le stress hydrique, puis elle est véhiculée vers les feuilles. La fermeture des stomates provoque une augmentation de la température foliaire et une réduction de l'assimilation du CO₂ d'où une réduction de l'activité photosynthétique (Bendradji, 2013 ; Neffar, 2013).

I.6.3.2. La teneur relative en eau

La teneur relative en eau (TRE) correspond à une signification physiologique directe de l'état hydrique du végétal (Collinson *et al.*, 1997). C'est un paramètre physiologique indicateur de la résistance des espèces vis-à-vis d'un stress hydrique (Berka et Aïd, 2009). Le maintien d'un potentiel hydrique élevé est lié à l'aptitude à extraire l'eau du sol et à la capacité à limiter les pertes d'eau par transpiration (Turner, 1986).

Les génotypes qui maintiennent leur TRE élevée lors du stress hydrique seront probablement les plus tolérants et seront les plus productifs (Sassi *et al.*, 2012). La corrélation positive entre la teneur relative en eau et la biomasse accumulée indique, qu'en général, l'accumulation de la biomasse sous stress est dépendante du contenu foliaire en eau (Benmahammed *et al.*, 2008). Les variétés de blé dur semblent présenter une meilleure résistance à la déshydratation foliaire que les variétés de blé tendre, et cette supériorité se manifeste essentiellement au stade de l'épiaison où la diminution de la teneur foliaire en eau chez le blé dur est significativement moins importante que celle enregistrée chez le blé tendre (Alem *et al.*, 2002). La teneur relative en eau est considérée comme un critère fiable de criblage pour la sélection de lignées tolérantes à la contrainte hydrique (Clarke *et al.*, 1991).

I.6.3.3. Le maintien de l'intégrité membranaire

D'autres mécanismes encore peuvent intervenir dans le maintien de la turgescence cellulaire, comme l'élasticité membranaire, la réduction de la taille des cellules (Tyree et Jarvis, 1982) et la résistance protoplasmique. Cette dernière dépend de la capacité des cellules à résister à un dommage mécanique et à la dénaturation des protéines au niveau membranaire ou cytoplasmique (Gaff, 1980). La tolérance des membranes cellulaires face

à la contrainte hydrique est l'un des mécanismes de résistance à la sécheresse les plus efficaces chez les plantes. Il a été mis en relation avec la performance au champ des génotypes sur différentes espèces végétales (Vasquez-Tello *et al.*, 1990 ; Dhanda et Sethi, 2002). Ces différents résultats montrent bien qu'une appréciation de l'intégrité des membranes en condition de stress constitue une approche indispensable pour l'évaluation de la capacité de tolérance à la sécheresse d'un matériel donné (Annerose, 1990).

Le maintien de l'intégrité membranaire constitue encore le mécanisme de tolérance à la sécheresse. Les différences variétales mises en évidence permettent de caractériser les variétés les plus tolérantes par leur capacité à conserver l'intégrité de leurs tissus en condition de sécheresse. L'intérêt de ce comportement n'est pas seulement d'améliorer la capacité de la plante à supporter une déshydratation mais il devrait aussi contribuer à favoriser ses capacités de reprise à l'arrêt de la sécheresse (Annerose, 1990). La prise en compte des résultats obtenus à la fois aux niveaux cellulaires et de la plante entière apparaît nécessaire pour une meilleure compréhension de la complexité des mécanismes permettant à la plante de résister au stress et constitue à nos yeux une stratégie essentielle dans ce type d'étude (Bajji *et al.*, 2000).

I.6.3.4. Température de la canopée

La température de surface du couvert végétal est une caractéristique physique de la plante influencée par la contrainte hydrique. Plusieurs méthodes ont été utilisées pour estimer et mesurer la température d'un couvert végétal, cependant l'utilisation de la télédétection infrarouge thermique est celle qui semble offrir des voies prometteuses (Pask *et al.*, 2012). Elle présente l'avantage de la rapidité et de la facilité d'acquisition, nécessaire pour un diagnostic hydrique. Ceci a conduit au développement de plusieurs indicateurs de stress hydrique basés sur la relation qui existe entre la température, les propriétés optiques des végétaux et leur état hydrique (Reynolds *et al.*, 2012).

Selon Dakheel *et al.* (1993), la capacité des plantes à maintenir une température foliaire basse est une indication de leur grande capacité à extraire l'eau du sol et à se rafraîchir par transpiration. Ces variétés maintiennent une activité photosynthétique élevée autorisant un rendement plus élevé, sous stress terminal. La mesure de la température de la canopée a bénéficié d'un certain intérêt comme technique de criblage pour la résistance au stress, particulièrement avec l'avènement du thermomètre infrarouge portable. Dakheel *et al.* (1993) trouvent que durant les premiers stades de développement, jusqu'au stade épiaison, quand la température de l'air est relativement basse, la température de la canopée

est corrélée positivement avec le rendement en grains. A partir du stade épiaison et durant la période de remplissage du grain, la température foliaire est corrélée négativement avec le rendement en grains. Des températures basses du couvert végétal sont indicatives d'un potentiel hydrique foliaire élevé (Blum et Pnuel, 1990).

I.6.3.5. Teneur en chlorophylle

La diminution de la photosynthèse, qui fait suite à la réduction de la teneur relative en eau et du potentiel hydrique foliaire, est causée par la réduction de la pénétration du CO₂. La diminution de la photosynthèse nette peut être attribuée à la diminution de la concentration interne du CO₂ sans que la capacité photosynthétique des tissus de la feuille ne soit endommagée (El-jaafari et Paul, 1993). Une diminution de la teneur en chlorophylle est remarquée chez le blé tendre sous stress hydrique (Bousba *et al.*, 2009).

Tahri *et al.* (1997) montrent l'augmentation de la teneur en proline foliaire sous l'effet du stress suivie par un abaissement dans les teneurs en pigments chlorophylliens totaux (Chlorophylles a et b). Ainsi la variété qui accumule plus de proline est aussi celle qui connaît la plus forte diminution de ses teneurs en pigments chlorophylliens et vice versa (Tahri *et al.*, 1997).

I.6.3.6. L'ajustement osmotique

Est défini comme un abaissement du potentiel osmotique par l'accumulation de solutés dans les cellules en réponse à un stress. Il peut intervenir à tous les stades de développement. Les solutés accumulés sont très variés et appartiennent à diverses familles biochimiques comme les acides aminés (proline, glycine bêtaïne), les sucres solubles, les acides organiques et les sels minéraux (K⁺, Na⁺, CL⁻) (Labdelli, 2012).

L'ajustement osmotique joue un rôle primordial dans la résistance ou la tolérance de la plante à la contrainte (Munns *et al.*, 2006). Il apparaît aujourd'hui comme un mécanisme majeur d'adaptation à la sécheresse. L'intérêt croissant qui lui est porté est lié à différents facteurs, car il maintient de la turgescence et de la croissance (Munns, 2002 ; Grennan, 2006 ; Martinez *et al.*, 2007), retarde le déroulement et de la sénescence foliaire, et la régulation stomatique (Ottow *et al.*, 2005). L'osmorégulation permet également une protection des membranes et des systèmes enzymatiques surtout dans les organes jeunes (Ottow *et al.*, 2005).

CHAPITRE II

MATERIEL et METHODES

II. Matériel et méthodes

II.1. Appréciation de la qualité technologique des variétés étudiées

II.1.1. Site, matériel végétal et dispositif expérimental

Cette expérience a été conduite au niveau de l'entreprise AGRO-DIV, moulins des hauts plateaux situés dans la cité Chouf Lekded à 4 Km de la ville de Sétif près d'oued Bousselam. L'entreprise occupe une superficie de 341000 m². Le matériel végétal est constitué d'une collection de 34 variétés de blé tendre (*Triticum aestivum* L.). La semence représente la récolte de la campagne agricole 2017/18 où l'essai a été conduit au Centre National de Contrôle et de Certification des semences et plants (CNCC, Sétif). Les variétés qui font l'objet de cette étude sont celles inscrites au catalogue officiel algérien (CNCC, 2015). Elles ont été choisies pour relier les propriétés technologiques et physicochimiques de celles-ci.

Tableau I : Nom et origine des variétés de blé tendre étudiées.

N°	Variété	Origine	N°	Variété	Origine
V1	Ain Abid	Espagne	V18	Hodna	Acsad-Syrie
V2	Akhamokh	Cimmyt-Mexique	V19	Mahon-Démias	Iles Baléares-Espagne
V3	Almirante	Serasem-France	V20	Massine	Cimmyt -Mexique
V4	Anapo	Italie	V21	Mezghana	Serasem-France
V5	Andana	Italie	V22	Mimouni	Cimmyt-Mexique
V6	Anforeta	Italie	V23	Nesser	Icarda-Syrie
V7	Anza	Cimmyt-Mexique	V24	Orion	Serasem-France
V8	Arz	Cimmit-Mexique	V25	Pinzon	Espagne
V9	Bonpain	France	V26	Rmada	Acsad-Syrie
V10	Boumerzoug	Cimmyt-Mexique	V27	Salama	France
V11	Buffalo	Serasem-France	V28	Sensas	Serasem-France
V12	Djanet	Acsad-Syrie	V29	Sidi Okba	Cimmyt-Mexique
V13	Djemila	Acsad-Syrie	V30	SieteCerros	Cimmyt-Mexique
V14	El Wifak	Cimmyt-Mexique	V31	Tamezghida	Serasem-France
V15	Florence-Aurore	Locale	V32	Tidis	Cimmyt-Mexique
V16	Guadalupe	France	V33	Ziad	Cimmyt-Mexique
V17	Hidhab	Cimmyt-Mexique	V34	Zidane	Cimmyt-Mexique

Cimmyt : International Maize and Wheat Improvement Center, Icarda : International Center for Agricultural Research in the Dry Areas.

II.1.2. Analyses effectuées sur la graine de blé tendre

II.1.2.1. Détermination de la teneur en eau

L'eau est l'un des constituants de base du grain ; connaître la teneur en eau du grain permet aux meuniers de savoir la quantité d'eau à rajouter avant la mouture pour une meilleure séparation des couches des grains (Messaadi et Samai, 2016 ; Amira et Fadel, 2013). La teneur en eau a été déterminée selon la méthode décrite par la norme algérienne (NA 1333/1990-ISO 712), par séchage dans une étuve à pression atmosphérique, réglée à 130°C d'une prise d'essai de 5g pendant 1 heure et demi. La perte de masse est la quantité d'eau présente dans l'échantillon. La teneur en humidité exprimé en pourcentage (H, %) en masse du produit telle qu'il est donné par la formule suivante :

$$H (\%) = 100 \left(\frac{m_1 - m_2}{m_1 - m_0} \right)$$

Où :

m₀ : masse de la nacelle métallique vide ;

m₁ : masse de la nacelle métallique et de la prise d'essai avant séchage ;

m₂ : masse de la nacelle métallique et de la prise d'essai après séchage.

II.1.2.2. Taux de cendres

Les cendres sont le résidu minéral incombustible obtenu après incinération. Il a été obtenu selon la méthode décrite par la norme algérienne (NA7333/1990-ISO2171), par incinération d'une prise d'essai dans un four à moufle à une température de 900C° jusqu'à combustion complète de la matière organique puis pesée du résidu obtenu. Avant de commencer l'incinération des échantillons, il est nécessaire d'ajouter de l'éthanol pour les enflammer (pré-incinération). Après que le produit soit brûlé, on introduit les capsules à l'intérieur du four, et on attend la combustion complète de la totalité du produit qui dure au minimum 4 heures. Le taux de cendres (TC, %) exprimé en pourcentage en masse du produit est donné par la formule suivante :

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

Où :

PTi : poids total (creusée + prise d'essai) incinéré

PV : poids vide

II.1.2.3. Taux de protéines

Dans le cadre de la présente étude, nous avons utilisé un appareil appelé l'INFRAMATIC de type PERTEN (Photo 1) qui donne directement la valeur de taux de protéines. Le principe de la méthode d'analyse (norme algérienne ISO/5529-1992) repose sur l'utilisation des rayonnements infrarouges. Il suffit alors de verser le produit brut broyé à une quantité de 50 à 100g, après une minute, les résultats seront affichés sur l'écran de l'appareil.



Photo 1 : l'INFRAMATIC utilisé pour obtenir le taux de protéines.

II.1.2.4. Teneur en gluten

II.1.2.4.1. Détermination de gluten humide

Le gluten est un composé principal de la fraction protéique des blés, insoluble dans les solutions salines, c'est une substance plastoélastique. Il est considéré comme moyen d'estimation de la qualité de la pâte (norme algérienne NA735/1991/ISO5531). La teneur en gluten a été déterminée selon le protocole de Mauze *et al.* (1972). Le principe consiste à broyer 10g de blé, à laquelle on ajoute 5ml d'eau salée et à l'aide d'une spatule un pàton est formé. L'extraction de gluten s'effectue alors par lixiviation manuelle sous un mince filet d'eau (Photo 2). Le gluten humide résultant est essoré, et en suite repesé puis pesé. Le gluten humide (GH, %) exprimé en pourcentage de masse selon la formule suivante :

$$GH (\%) = 100 \left(\frac{m}{10} \right)$$

Où :

m : poids de gluten ;

10 : prise de l'essai.



Photo 2 : Formation de pâton (à gauche) et lixiviation manuelle de l'échantillon sous un mince filet d'eau (à droite).

II.1.2.4.2. Détermination de gluten sec

Après séchage du gluten humide et à l'aide du Glutock, pendant 3 à 5 mn, on obtient le poids du gluten sec (norme algérienne NA735/1991-ISO6645). Le gluten sec (GS, %) est exprimé en pourcentage des masses rapporté à la matière sèche et est donné par la formule suivante :

$$GS = m \times \frac{100}{10}$$

Où :

m : poids de gluten sec ;

10 : prise de l'essai.



Photo 3 : Le Glutock utilisé pour obtenir le gluten sec.

II.1.2.5. Indice de sédimentation (test de ZELENY)

Il donne une indication globale sur la quantité et la qualité du gluten. On admet qu'il est en relation avec la force boulangère (22 à 30 / NA 1184-94) (Malki et Malki, 2016). L'appareil utilisé pour ce test (l'INFRAMATIC de type PERTEN) est celui décrit dans la détermination de la teneur en protéines (Photo 1).

II.1.2.6. Indice de chute de HAGBERG

C'est un indice qui permet d'évaluer l'activité enzymatique d'un échantillon, les enzymes traités sont les amylases qui hydrolyse amidon en glucose (Moffakir, 2016). Le principe repose sur la mesure de la viscosité d'un empois, formé par la gélatinisation d'une suspension aqueuse de produit ou de mouture intégrale placée dans un bain d'eau bouillante, l'évolution de sa viscosité liée à l'activité des enzymes est appréciée par le temps mis par un agitateur pour traverser la préparation sous l'effet de son propre poids (Photo 4).



Photo 4 : Le HAGBERG utilisé pour obtenir l'indice de chute.

L'indice de chute de HAGBERG (Ich, Sec) s'exprime en secondes, il globalise la durée d'agitation de la préparation et celle de la chute d'agitateur. L'échelle de l'indice de chute est donnée comme suit (Tableau II) :

Tableau II : Echelle de l'indice de chute de HAGBERG.

<i>Echelle d'indice de chute sur le blé tendre</i>	<i>Activité enzymatique</i>	<i>Evaluation et classement</i>
<i>Inferieur à 180 secondes</i>	Forte	Germée (pain très coloré)
<i>Entre 180 et 300 secondes</i>	Optimal	Non germé (pain normal)
<i>Supérieur à 300 secondes</i>	Faible	Blé sain (pain trop sec)

II.1.2.7. Poids de mille grains

Le poids de milles grains (PMG, g) a été déduit par comptage manuel et pesage de 250 graines pour chaque variété et ce après élimination des impuretés et de grains cassés. Le poids obtenu est multiplié par 4. Trois répétitions sont faites pour cette variables.

II.1.2.8. Rendement en grains

Le rendement en grains (RDT, q/ha) est défini comme la résultante du produit de la biomasse aérienne et l'indice de récolte (Bouzerzour, 1998). La biomasse aérienne est la résultante de plusieurs caractéristiques de la plante tel que le nombre d'épis produit par unité de surface et la hauteur de la plante. Le rendement de la campagne agricole 2017/18 a été fait par Monsieur Fellahi. Le rendement en grains a été déterminé sur un segment d'un mètre linéaire, dont la valeur a été rapportée en q/ha. Ce caractère a été inclus dans la présente étude afin d'apprécier la relation entre le potentiel productif des génotypes étudiés et leur qualité technologique.

II.2. Appréciation de la tolérance au stress hydrique du blé au stage juvénile

II.2.1. Objectif

L'objectif de ce travail est l'étude comparative *in vitro* pour la tolérance au stress hydrique des plantules de blé à partir de quelques paramètres morphologiques et physiologiques.

II.2.2. Conditions expérimentales

L'expérimentation est réalisée au niveau du laboratoire de l'Institut National de la Recherche Agronomique d'Algérie (INRAA), unité de recherche de Sétif. Le matériel végétal est celui décrit dans la première partie de l'étude (Tableau I). Afin d'apprécier la réponse des génotypes de blé tendre au stress hydrique au stade précoce de développement de la céréale, nous avons utilisé des solutions à base de polyéthylène glycol (PEG6000) à différentes concentrations. Le PEG constitue un agent relativement stable, inerte, et bien soluble dans l'eau (Benjelloun *et al.*, 2013). Les solutions sont préparées en faisant dissoudre le PEG6000 dans l'eau distillée. Dans notre expérience, nous avons utilisé en plus du témoin deux niveaux de stress, soit au total trois traitements T0, T1 et T2 qui correspondent aux concentrations 0g/l, 150g/l et 250g/l de PEG6000, respectivement. Les différentes doses utilisées ont été choisies en se référant aux données bibliographiques (Michel et Kaufmann, 1973 ; Khakwani *et al.*, 2011 ; Baloch *et al.*, 2012 ; Prakash *et al.*, 2015).

Le test de germination a été effectué sous différentes concentrations de polyéthylène glycol. Pour chaque variété et à chaque concentration de PEG6000, 100 graines sont mises à germer le 30 Avril 2019 dans des boîtes de Pétri tapissées par deux couches de papier filtre. Les boîtes sont mises à l'obscurité totale et à la température ambiante du laboratoire. L'unité expérimental est matérialisée par la boîte de Pétri. L'essai est répété trois fois. Durant les sept jours de l'expérience, un suivi quotidien et un dénombrement des graines germées sont effectués. La germination est repérée par la sortie de la radicule hors des téguments de la graine. On considère que la germination a lieu lorsque la radicule atteint 1 à 2 mm (Sayat *et al.*, 2010).

Pour la croissance, des graines germées de la première boîte (T0) sont transférée, après 48 heures, dans des tubes à essai contenant les solutions préparées (T0, T1 et T2). L'unité expérimental est matérialisée par le tube à essai, à raison d'une graine par tube. Des flacons de coton sont utilisées comme un support des graines dans les tubes à essai. Les différents traitements sont répétés trois fois. Le protocole expérimental adopté dans cette expérimentation est illustré dans la figure 2.

II.2.3. Mesures effectuées

II.2.3.1. Taux de germination

Le pourcentage de germination (G, %) est déterminé selon les normes de l'ISTA (2003) décrites par Benderradji *et al.* (2016), il est exprimé par le rapport du nombre de graines germées sur le nombre total de graines semées :

$$G (\%) = 100(NGG/NTG)$$

Où :

NGG : nombre des graines germées ;

NTG : nombre total des graines incubées.

II.2.3.2. Nombre de racines

Le nombre moyen de racines (NR, No) a été déterminé, à la fin de l'expérience (10 jours), pour chaque graine et traitement par comptage des racines séminales.

2.3.3. Longueur des racines

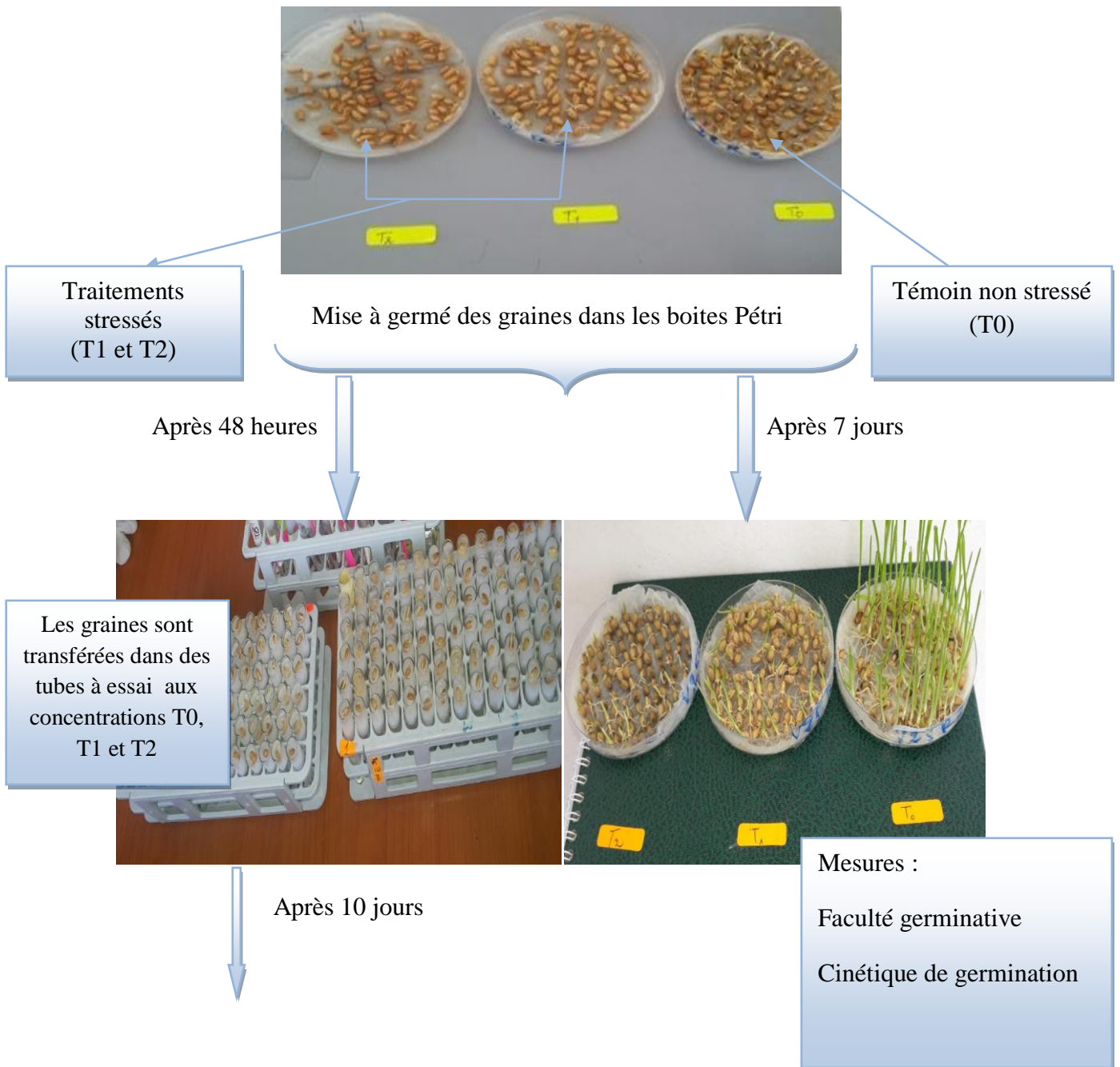
La longueur maximale des racines séminales (LR, cm) a été déterminée, après 10 jours de la plantation, comme la longueur en cm de la racine la plus longue.

II.2.3.4. Longueur de la coléoptile

La longueur de la coléoptile (LC, cm) est mesurée pour chaque graine et traitement à l'aide d'une règle graduée.

II.2.3.5. Matière fraîche racinaire et aérienne

Le poids frais des racines (MFR, mg) et des feuilles (MFA, mg) ont été déterminés à la fin de l'expérience à l'aide d'une balance à précision.





Mesures :

Longueur de racines

Nombre de racines

Longueur de la coléoptile

Matière fraîche racinaire et aérienne

Figure 2 : Protocol expérimental adopté dans cette expérimentation.

II.3. Analyse des données

Les données obtenues ont été traitées par l'analyse de la variance, à un facteur étudié (variété) pour la partie qualité technologique et à deux facteurs étudiés (variété et PEG6000) pour la partie tolérance au stress hydrique. La comparaison des moyennes des traitements est faite sur la base du calcul de la plus petite différence significative au seuil de 5% ($P_{pds5\%}$). Les Liaisons entre caractères mesurés ont été analysées en utilisant les corrélations phénotypiques et génotypiques. Les différentes variétés évaluées ont été groupées sur la base des variables mesurées en utilisant la méthode Ward. Les données ont été analysées en utilisant le logiciel CoStat (version 6.4, CoHort Software, Monterey, CA, USA) et le programme Excel.

CHAPITRE III

RESULTATS et DISCUSSION

III. Résultats et discussion

III.1. Etude de la qualité technologique des variétés étudiées

III.1.1. Analyse de la variance

L'analyse de la variance (ANOVA) révèle un effet génotype significatif ($p < 0.05$) à très hautement significatif ($p < 0.001$) pour l'ensemble des variables mesurées (Tableau III). Ces résultats indiquent la présence d'une variabilité assez importante entre les génotypes étudiés. Les valeurs prises par le coefficient de variation sont faibles variant de 3.90% pour le poids de 1000 grains à 23.55% pour le rendement en grains (Tableau III). Théoriquement, plus les valeurs de ce paramètre sont élevées moins l'expérience est fiable. Les résultats de cette étude suggèrent très peu d'erreurs et une bonne précision de la manipulation des tests conduits. La variation due à l'effet 'génotype' représente quasi-totalité de la variation totale observée, tous les caractères inclus. La variation due au facteur contrôlé 'répétition' ainsi que la variation 'résiduelle' sont négligeables telle qu'elle est indiquée par les carrés moyens de l'ANOVA (Tableau III).

Tableau III : Carrés moyens de l'analyse de la variance des variables étudiées.

SV	ddl	PMG	Hum	Cen	Pro	GH	GS	Sed	Ich	RDT
Rep	2	4.79	2.17	0.01	2.55	19.12	1.25	12.74	15046.71	1060.41
Génotype	33	36.1***	0.4*	0.6***	3.3***	51.2***	3.7***	68.3***	19432.9***	1224.9*
Erreur	66	2.41	0.26	0.01	0.64	6.78	0.50	3.84	5554.95	650.37
CV (%)		3.90	4.48	5.39	5.31	8.11	6.40	7.15	14.32	23.55

PMG: Poids de 1000 grains, H: Humidité du grain, TC: Taux de cendres, Pro: Taux de protéines, GH: Gluten humide, GS: Gluten sec, Sed: Indice de sédimentation, Ich: Indice de chute, RDT: Rendement en grains, * et *** : Différences significative et très hautement significative au seuil de 5% et 0.1%, respectivement.

III.1.2. Etude des valeurs moyennes

L'étude des valeurs moyennes indique que les valeurs extrêmes minimales et maximales sont variables d'un caractère à un autre et d'un génotype à un autre, aucune variété ne présente les valeurs désirées pour plusieurs caractères à la fois (Tableau IV). Ce résultat reflète la difficulté d'identifier des génotypes qui rassemblent les valeurs désirées pour l'ensemble des variables.

III.1.2.1. Poids de mille grains

Les valeurs du poids de mille graines (PMG) varient de 32.04 à 47.17g au tour d'une moyenne de 39.75g et une plus petite différence significative de 2.53g (Tableau IV). Considérant la classification de Godon et Williams (1998), toutes les variétés évaluées présentent un poids de mille grains (blés moyens) avec des moyennes comprises entre 35 et

Chapitre III..... Résultats et Discussion

55 g, à l'exception de Buffalo (V11), Guadalupe (V16) et Mezghana (V21) (petits blés) dont le PMG est inférieur à 35 g.

Tableau IV : Valeurs moyennes des variables étudiées.

Génotypes	PMG	H	TC	Pro	GH	GS	Sed	Ich	RDT
V1	42.71	11.87	1.81	14.87	29.57	10.56	29.67	489.00	58.76
V2	41.17	11.24	1.47	17.23	29.46	11.08	29.00	552.67	52.37
V3	39.61	11.44	1.52	15.07	32.31	11.17	28.33	591.00	74.08
V4	42.04	11.01	1.31	13.97	30.22	10.60	24.67	457.33	53.58
V5	38.93	11.02	1.81	14.60	33.21	11.72	22.33	610.00	36.69
V6	37.53	10.33	1.74	15.13	33.50	11.23	28.00	556.00	55.17
V7	37.67	11.13	1.65	15.47	37.43	12.73	34.33	569.00	61.07
V8	40.55	10.99	1.55	16.43	35.26	12.08	32.67	564.33	50.78
V9	36.38	11.00	1.68	16.10	30.83	11.46	30.67	530.67	48.56
V10	41.43	11.04	1.53	16.20	37.58	12.16	31.67	397.00	43.75
V11	34.39	11.21	2.03	15.10	26.42	9.44	23.33	602.67	69.22
V12	43.05	11.35	1.25	13.60	34.25	12.42	20.33	408.33	56.01
V13	39.20	10.69	1.19	13.13	29.45	10.98	19.00	424.00	50.78
V14	47.17	10.63	1.82	13.73	26.53	9.50	19.00	456.67	36.48
V15	45.91	11.01	1.52	16.20	32.22	11.81	29.00	412.67	46.49
V16	34.24	11.14	1.94	13.63	28.77	8.67	17.00	420.33	58.26
V17	38.67	11.25	1.40	12.80	29.89	9.97	18.33	545.33	64.91
V18	37.03	11.40	1.69	16.23	30.37	11.25	33.67	578.33	53.29
V19	43.77	11.35	1.18	15.13	45.27	13.00	27.33	554.00	47.05
V20	37.56	11.66	1.50	14.40	26.57	9.85	29.67	593.67	64.92
V21	32.04	11.27	1.86	15.63	37.14	12.65	32.67	530.33	42.90
V22	44.51	11.61	1.39	14.10	35.89	12.27	25.33	464.33	58.92
V23	37.36	11.55	1.25	15.17	34.75	11.97	33.67	610.67	55.42
V24	38.12	11.59	1.78	13.47	27.06	9.46	24.00	580.00	65.50
V25	42.65	11.57	1.44	16.20	32.80	11.96	31.00	584.67	57.81
V26	42.43	10.65	1.43	15.53	28.36	10.53	28.00	598.00	35.54
V27	41.09	11.30	1.78	15.10	26.82	9.87	26.67	538.00	44.38
V28	36.87	11.61	1.84	15.27	32.55	10.89	28.00	603.00	58.62
V29	37.17	11.79	1.43	15.00	34.76	11.75	29.67	542.00	60.48
V30	39.12	11.49	1.58	15.33	32.90	11.25	31.33	625.00	67.17
V31	40.04	11.78	1.83	14.40	29.06	9.43	23.00	441.00	36.74
V32	43.60	11.43	1.52	15.70	28.61	10.16	31.33	551.67	50.93
V33	35.32	11.25	1.83	15.73	34.48	11.81	30.00	397.33	54.12
V34	42.27	11.93	1.65	15.90	37.24	11.46	28.33	313.00	70.00
<i>Moyenne</i>	39.75	11.28	1.59	15.05	32.10	11.09	27.38	520.35	54.14
<i>Ppds_{5%}</i>	2.53	0.82	0.14	1.30	4.24	1.16	3.19	121.50	20.79

PMG: Poids de 1000 grains (g), H: Humidité du grain (%), TC: Taux de cendres (%), Pro: Taux de protéines (%), GH: Gluten humide (%), GS: Gluten sec (%), Sed: Indice de sédimentation (%), Ich: Indice de chute (Sec), RDT: Rendement en grains (q/ha).

Le poids de mille grains est une caractéristique fortement contrôlée par des facteurs génétiques. Plusieurs études ont montré que le génotype contribue fortement à la variation du PMG (Aucamp *et al.*, 2006 ; Otteson *et al.*, 2008 ; Fellahi *et al.*, 2013, 2016, 2017 ; Hannachi *et al.*, 2013, 2017). Plusieurs QTL liés à l'expression du PMG ont été identifiés. Campbell *et al.* (1999) ont identifié des QTL sur les chromosomes 1A, 1B, 3B, et 7A permettant d'expliquer 44% de la variation du PMG. 8 QTLs exprimant 54% de la variabilité du PMG ont été localisés sur les chromosomes 1B, 2B, 2D, 3B, 5A, 5B, 7B (Zanetti *et al.*, 2001). L'étude de Grosss *et al.* (2003), a également permis d'identifier 3 QTLs sur les chromosomes 2B, 5B et 7A.

Relativement à la valeur moyenne du PMG, les écarts enregistrés chez les variétés évaluées sont indiqués en figure 3. En effet seize variétés affichent des écarts positifs dans le sens désiré de la sélection. Les écarts les plus importants sont ceux générés par les variétés El Wifak (V14), Florence Aurore (V15), Mimouni (V22), Mahon-Démias (V19), Tidis (V32) et Djanet (V12) avec des chiffres qui dépassent quatre fois la valeur de la Ppds (Figure 3, Tableau IV).

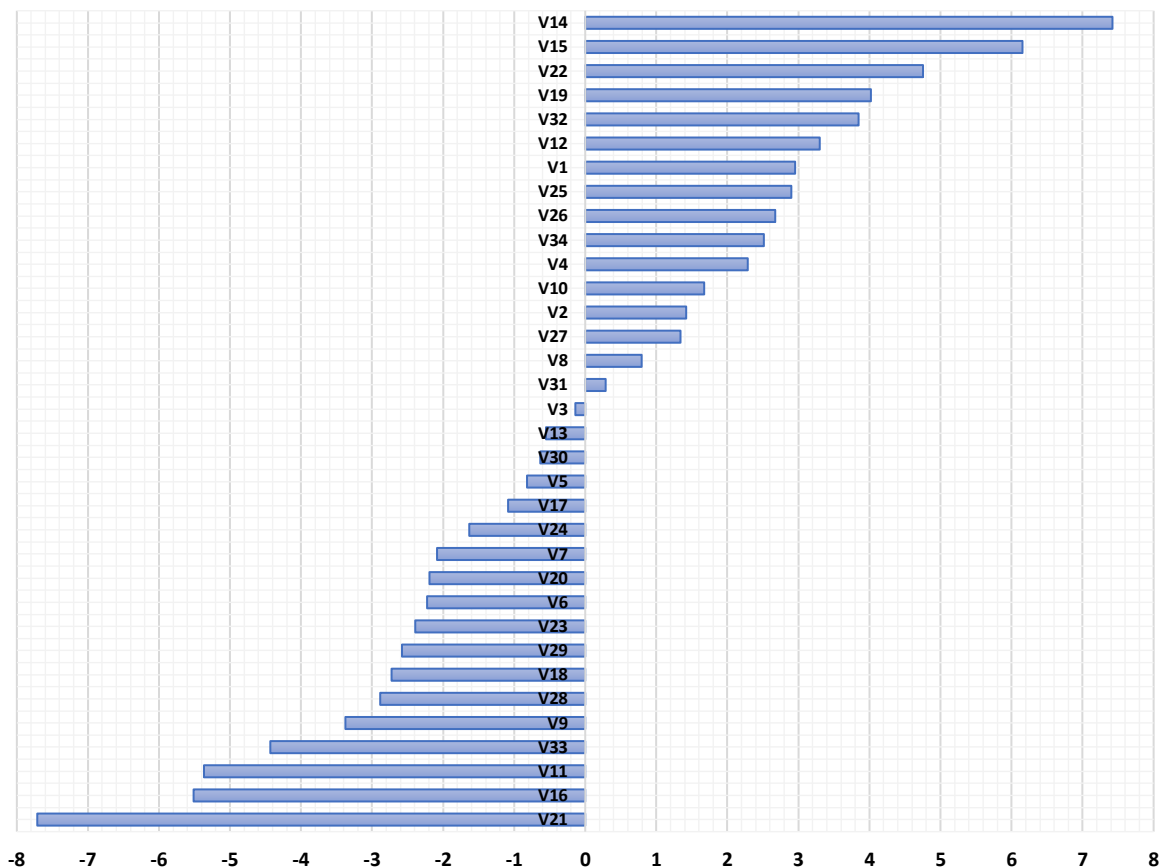


Figure 3 : Ecarts par rapport à la moyenne du poids de 1000 grains des variétés étudiées.

Les autres variétés comme Ain Abid (V1), Pinzon (V25), Rmada (V26), Zidane (V34), Anapo (V4), Boumerzoug (V10), Akhamokh (V2), Salama (V27), Arz (V8) et Tamezghida (V31) enregistrent des écarts positifs, mais moyens à faibles en valeur (Figure 3).

Le poids de mille graines à deux intérêts principaux. Du point de vue agronomique, il représente un indicateur du mode d'élaboration du rendement et des problèmes rencontrés par la plante lors de son développement (échaudage, attaques par les insectes ou certaines maladies cryptogamiques (Wang *et al.*, 2012). Technologiquement, il apparut comme un indicateur du rendement technologique dans les industries de première transformation (rendements semoulier, meuniers ou brassicoles) (Ait-Kaki, 2008). La taille du grain est une caractéristique essentiellement variétale, mais elle dépend également des facteurs agronomiques et climatiques qui entraînent la synthèse et l'accumulation plus ou moins importante des protéines de réserve dans l'albumen (Bourad, 2009). A partir d'une étude basée sur 20 variétés de blé tendre et blé dur, cultivées sur 7 différentes localités pendant les années 2005-2006, Shantha *et al.* (2007) ont observé un effet significatif des conditions environnementales sur cette variable. Castro *et al.* (2007) ainsi que Bhullar et Jenner (1985) ont observé que le stress thermique (températures supérieures à 35°C) pendant la phase de remplissage du grain serait à l'origine d'une baisse du poids des grains. D'autre part, l'étude de Preston *et al.* (1991) ont montré que les faibles températures (inférieures à 3°C) lors de la maturité précoce des grains sont également une source appréciable de la réduction de ce caractère. Un manque d'eau après la floraison, combiné aux températures élevées, entraîne alors une diminution dramatique 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 comme indiqué par plusieurs chercheurs dont Zouaoui (1993) et Chaker (2003).

III.1.2.2. Humidité du grain

La détermination de la teneur en eau du grain a un triple intérêt (El Hadeif El Okki, 2015). Du point de vue analytique, elle conditionne la précision des divers résultats rapportés à la matière sèche. Technologiquement, elle détermine les conditions de stockage des produits et joue un rôle très important dans la conservation du produit. Elle présente également un intérêt commercial et réglementaire où les contrats commerciaux et les normes réglementaires fixent des seuils de la teneur en eau.

Quoique l'analyse de la variance a montré un effet génotype significatif, les différentes valeurs d'humidité enregistrées sont presque semblables ; les variétés ont un pourcentage d'humidité compris entre 10.33%, valeur minimale mesurée chez Anforeta (V6) à 11.93%,

valeur maximale prise chez la variété Zidane (V34) (Tableau IV). La moyenne générale de ce caractère est de 11.28% et la plus petite différence significative est de 0.82%. Les valeurs prises par cette variable sont inférieures à la valeur maximale exigée du Codex STAND 178-1991 (14.5%), donc toutes les variétés se trouvent dans les normes pour le pourcentage d'humidité.

La teneur en eau des grains du blé tendre étudié est relativement proche de celles trouvées par beaucoup d'auteurs (Bourad, 2009 ; El HadeF El Okki, 2015) et permettent une conservation correcte des grains de blé si cette option est mise en œuvre. Elle renseigne sur la quantité d'eau à ajouter pour ramener l'humidité du grain à 16.5% dans le but d'avoir un bon taux d'extraction. Les faibles différences observées peuvent être dues à plusieurs paramètres entre autres les différences variétales, les types de sol, l'humidité de la saison, les conditions de récolte et de stockage des échantillons (Bengriche et Tiliouine, 2017). Une teneur élevée entraîne des fermentations et le développement de moisissures qui communique à la farine une odeur désagréable (Messaadi et Samai, 2016).

III.1.2.3. Taux de cendres

Les valeurs moyennes du taux de cendre varient de 1.18%, valeur minimale mesurée chez la variété Mahon-Démias (V11) à 2.03%, valeur maximale enregistrée chez Buffalo (V19), autour d'une moyenne générale de 1.59% et une valeur de la plus petite différence significative de 0.14% (Tableau IV). L'étude des écarts par rapport à la moyenne (Figure 4) montre que dix-huit variétés affichent des écarts négatifs dans le sens désiré de la sélection. Ceux les plus importants sont ceux exhibés par les variétés Mahon-Démias (V19), Djemila (V13), Djanet (V12), Nesser (V23) et Anapo (V4) avec des estimations qui dépassent deux fois la valeur de la Ppds (Figure 4, Tableau IV). Dans la mesure de réduire le taux de cendre, ces variétés sont suggérées comme de futurs géniteurs dans les programmes de sélection

La teneur en cendres du blé est une expression de la richesse en éléments minéraux. C'est une caractéristique de pureté de la farine qui augmente avec le taux d'extraction. Le taux de cendres peut varier considérablement en fonction de la région, des conditions climatiques et la proportion des enveloppes pendant la croissance (Feuillet, 2000). Il présente un intérêt essentiellement réglementaire et permet de classer les farines selon les types définis par la réglementation (Annexe 1). Nos résultats permettent ainsi de conclure qu'à l'exception de Djemila (V13) et Mahon-Démias (V19) qui présentent une farine complète (taux de cendres compris entre 1 et 1.20%), toutes les autres variétés évaluées ont une farine intégrale dont la teneur en cendres dépasse les 1.20%.

Autre que l'effet génotypique, la non-conformité en taux de matières minérales est due aussi à un mauvais nettoyage des blés, et à une extraction poussée (contamination par les parties périphériques). La présence de couches externes dans les produits de mouture est d'autant plus marquée que les blés conditionnés sont peu humides, subissant ainsi une mouture excessive, conduisant à la contamination des farines par les enveloppes (Boyacioglu et d'Appolonia, 1994).

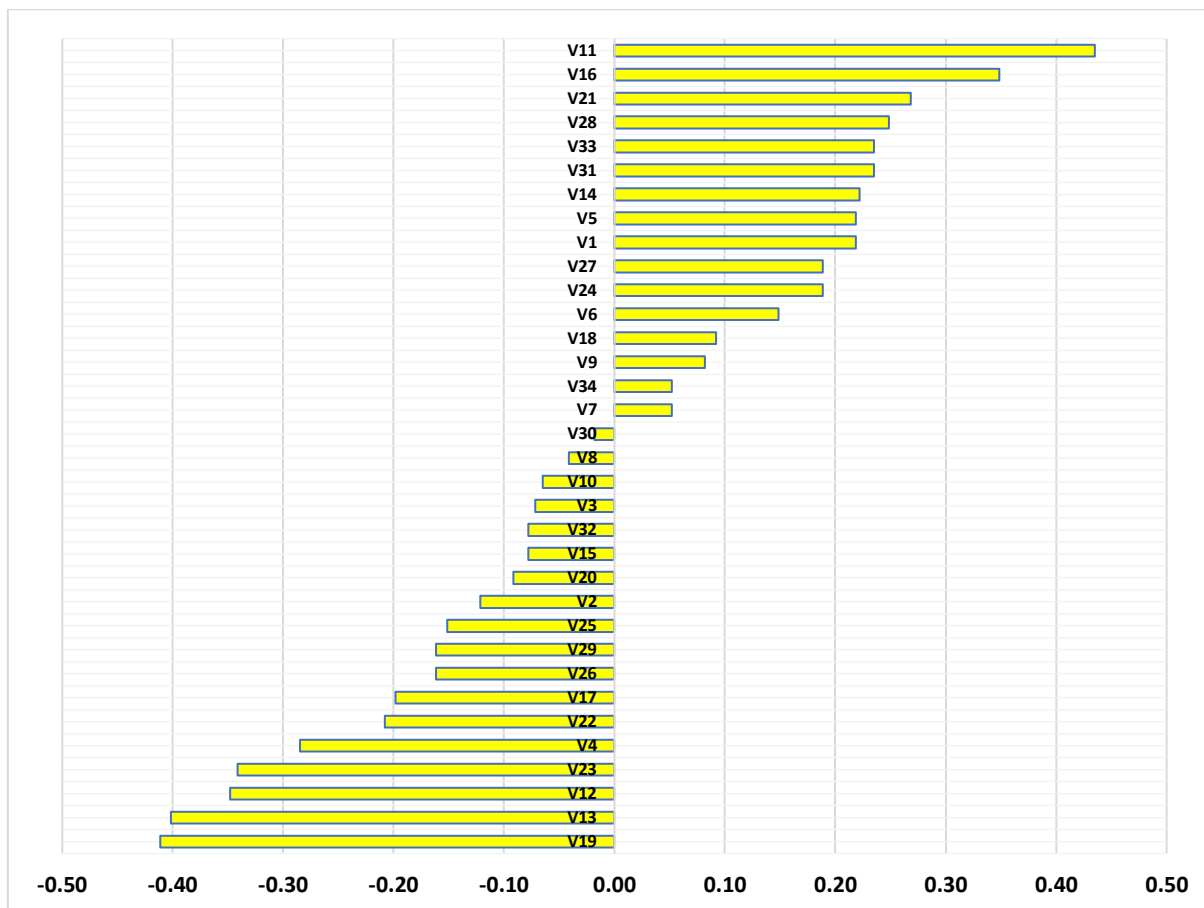


Figure 4 : Ecarts par rapport à la moyenne du taux de cendres des variétés étudiées.

III.1.2.4. Teneur en protéines

Les données du tableau IV indiquent que la variété Akhamokh (V2) enregistre la teneur en protéines la plus importante avec 17.23%, alors que la plus faible valeur pour cette variable est notée chez Hidhab (V17) avec 12.80%, autour d'une moyenne générale de 15.05% et une plus petite différence significative de 1.30%. Relativement à la valeur moyenne du taux de protéines, les écarts observés sont indiqués en figure 5. En effet, douze variétés affichent des écarts positifs dans le sens désiré de la sélection. Les écarts les plus importants sont ceux générés par les variétés Akhamokh (V2), Arz (V8) et Hodna (V18), avec des estimations qui excèdent la valeur de la Ppds (Figure 5, Tableau IV). Ces variétés sont

proposées aux sélectionneurs comme de futurs géniteurs pour améliorer la teneur en protéines via la sélection.

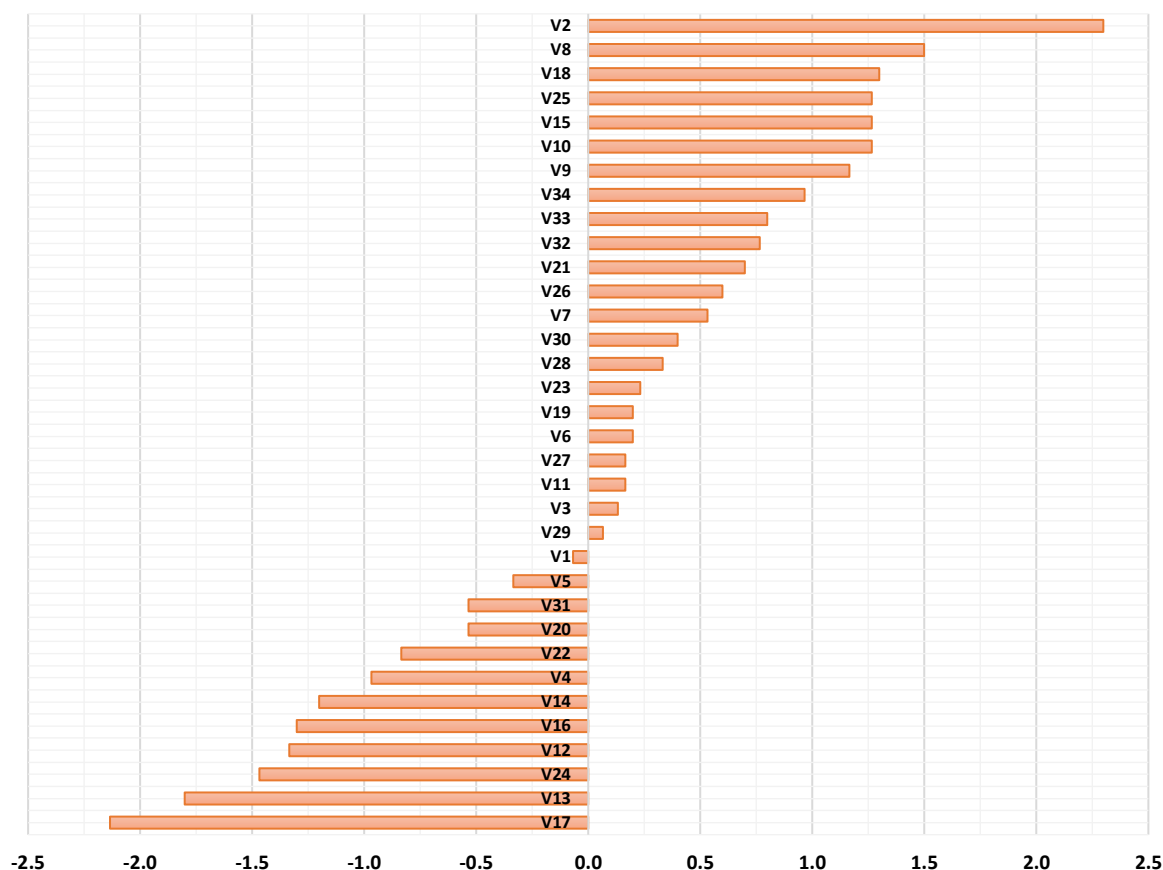


Figure 5 : Ecarts par rapport à la moyenne de la teneur en protéines de variétés étudiées.

Plusieurs études ont montré qu'en plus de leur quantité, la qualité (composition) des protéines du blé tendre est un facteur déterminant de la qualité boulangère de la farine. Selon Cherit (2000), la teneur en protéines présente un double intérêt, l'un nutritionnel et l'autre technologique et elle est considérée comme un indice de qualité. La teneur en protéines du grain du blé 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 telles que le niveau d'apport azoté, le stade de maturité du grain, l'année de récolte et du lieu de culture (Johansson, 2000 ; Triboi *et al.*, 2000 ; Igrejas *et al.*, 2001 ; Abad *et al.*, 2004 ; Souza *et al.*, 2004 ; Zhang *et al.*, 2005 ; Otteson *et al.*, 2008). 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 (El Hadeef El Okki, 2015). Inscrites au niveau du génome, les

différentes fractions protéiques peuvent toutefois être présentes à des teneurs variables selon la nutrition azotée. La fertilisation azotée a une incidence sur le rapport Azote/Soufre qui se traduit par des variations quantitatives de la synthèse d'acides aminés soufrés comme la méthionine et la cystéine (Rharrabti *et al.*, 2001).

III.1.2.5. Teneur en gluten humide

Le gluten joue un rôle multiple grâce à ses propriétés rhéologiques qui ont un comportement lors du pétrissage (Kleijer, 2002). Chez les 34 variétés étudiées, le gluten humide (GH) varie de 26.42%, valeur minimale obtenue chez Buffalo (V11) à 45.27%, valeur maximale mesurée chez la variété Mahon-Démias (V19) (Tableau IV). La moyenne générale de ce caractère est de 32.10% et la plus petite différence significative est de 4.24%. Relativement à la valeur moyenne de GH, les écarts du gluten humide des variétés testées, indiqués en figure 6, montrent que dix-huit variétés affichent des écarts positifs dans le sens désiré de la sélection.

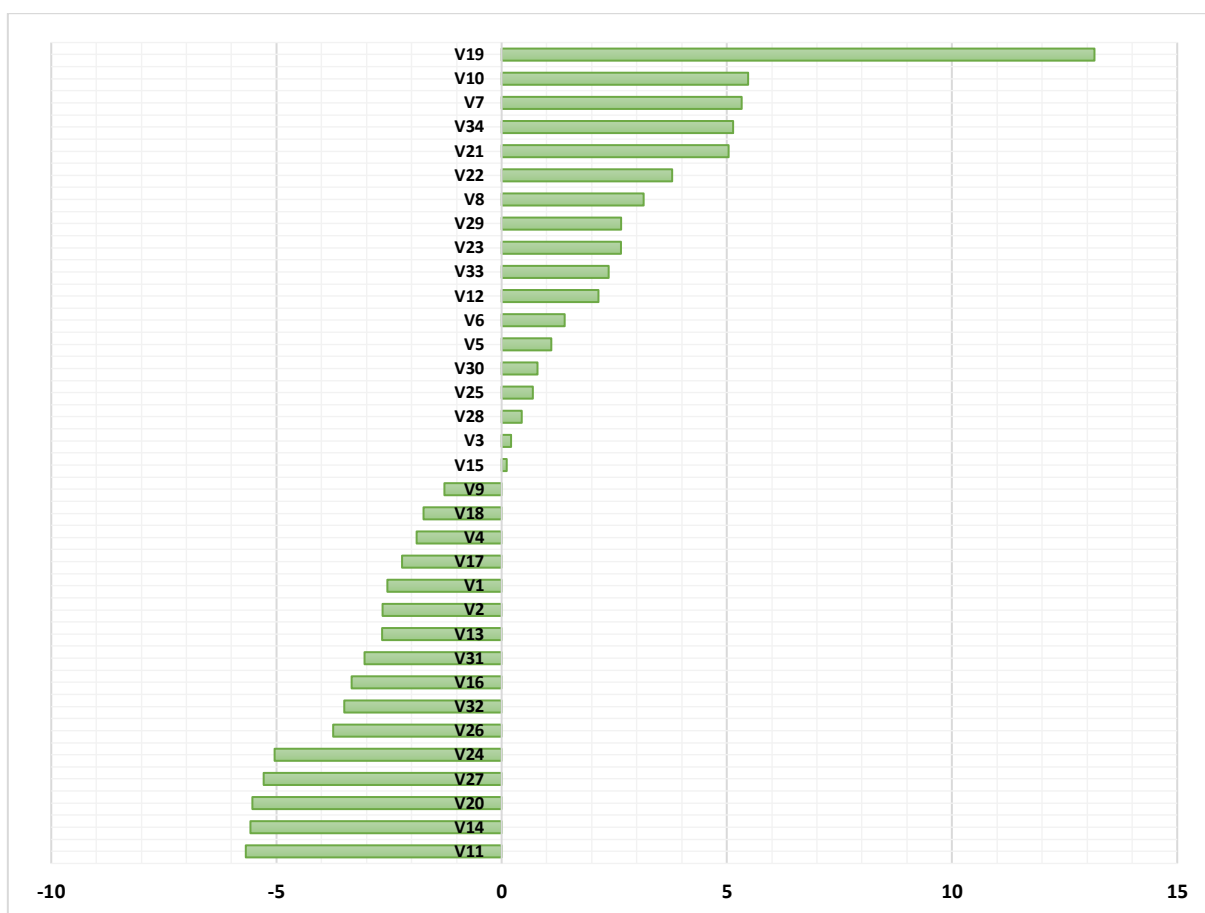


Figure 6 : Ecarts par rapport à la moyenne de la teneur en gluten humide de variétés étudiées.

Ceux les plus marqués sont exhibés par les variétés Mahon-Démias (V19), Boumerzoug (V10), Anza (V7), Zidane (V34) et Mezghana (V21) avec des chiffres excédant

la valeur prise par la Ppds (Figure 6, Tableau IV). Dans la mesure d'améliorer la teneur en gluten humide dans les futurs programmes d'amélioration de blé, ces cinq variétés sont les plus recommandées comme des géniteurs en croisements.

Selon Gresle (2000), le gluten humide conditionne la valeur technologique du blé. La teneur élevée en gluten humide pourrait être due à une forte absorption de l'eau, plus le gluten absorbe de l'eau, plus la différence est grande entre le gluten humide et sec, plus le gluten est de bonne qualité (Boulala et Rouabeh, 2018). Le gluten, constitué essentiellement par la fraction insoluble des protéines, présente la caractéristique de pouvoir former un réseau viscoélastique dont les propriétés d'extensibilité, d'élasticité et de ténacité ont une influence sur le comportement des pâtes en cours de fabrication et sur la qualité du produit fini (pain, biscuit, pâte, etc.). Ce test peut constituer également un moyen de prédiction de la qualité du blé dans le processus de l'amidonnerie.

III.1.2.6. Teneur en gluten sec

Chez les 34 variétés étudiées, le gluten sec (GS) varie de 8.67%, valeur minimale mesurée chez Guadalupe (V16) à 13%, valeur maximale observée chez Mahon-Démias (V19) (Tableau IV). La moyenne générale de cette variable est de 11.09% et la plus petite différence significative est de 1.16%. Relativement à la valeur moyenne de GS, les écarts de la teneur en gluten sec des variétés testées sont indiqués en figure 7. Dix-neuf parmi les 34 variétés testées affichent des écarts positifs (sens désiré de la sélection), ceux les plus importants sont exprimés par les variétés Mahon-Démias (V19), Anza (V7), Djanet (V12) et Mimouni (V22) avec des valeurs surmontant la Ppds (Figure 7, Tableau IV). Ces cultivars méritent d'être exploitées par les sélectionneurs dans tout programme visant l'amélioration du taux de gluten sec.

D'après Boudreau (1992), la teneur en gluten représente 80% des protéines. Ceci est évident du fait qu'il existe une corrélation positive entre le taux de gluten sec et la teneur en protéines.

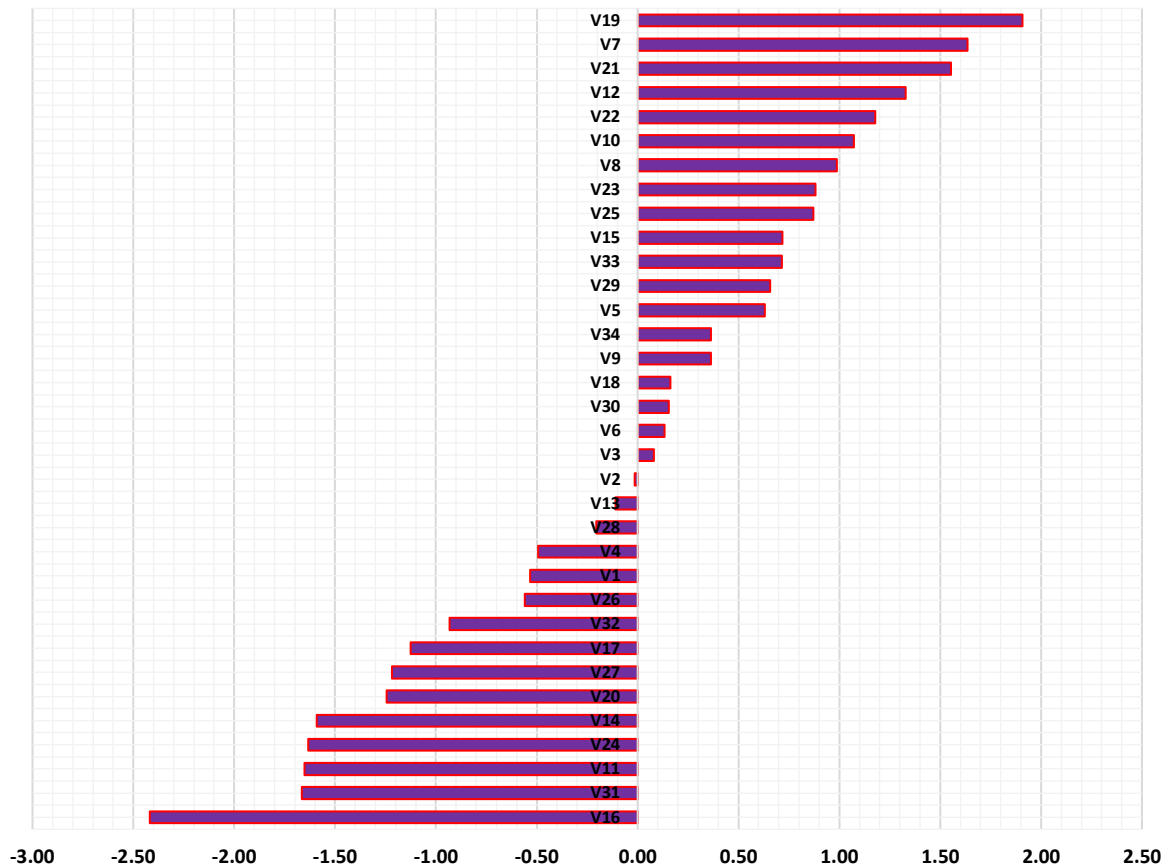


Figure 7 : Ecart par rapport à la moyenne de la teneur en gluten sec de variétés étudiées.

III.1.2.7. Indice de sédimentation

Les données du tableau IV indiquent que la variété Anza (V7) enregistre la plus grande valeur de l'indice de sédimentation (34.33%), alors que la plus faible valeur pour cette variable est notée chez Guadalupe (V16) (17.00%), autour d'une moyenne générale de 27.38% et une plus petite différence significative de 3.19%. Relativement à la valeur moyenne de cet indice, les écarts de la teneur en protéines des variétés testées, indiqués en figure 8, montrent que 21 variétés affichent des écarts positifs dans le sens voulu de la sélection. Les écarts les plus attirants sont ceux matérialisés par les variétés Anza (V7), Nesser (V23), Hodna (V18), Mezghana (V21), Arz (V8), Boumerzoug (V10), Tidis (V32), Siete Cerros (V30), Pinzon (V25) et Bonpain (V9) avec des estimations qui dépassent la valeur prise par la Ppds (Figure 8, Tableau IV). Ces variétés sont proposées aux sélectionneurs comme des géniteurs prometteurs pour améliorer le taux de sédimentation via la sélection.

L'indice de sédimentation de Zeleny donne une indication globale sur la quantité et la qualité du gluten. La valeur de cet indice serait reliée à la force boulangère des farines, on

admet qu'il existe une relation entre cet indice et la teneur en protéines du grain de blé (Feillet, 2000). Ce test est aussi un bon indicateur de la qualité des protéines, son utilisation est très remarquable pour le blé tendre, parfois ce paramètre est exigé lors des transactions commerciales. De nombreux auteurs comme Lafiandra *et al.* (1993) et Branlard *et al.* (1994) ont rapporté que les blés tendres ont des valeurs de Sed plus fortes que celles de blé dur.

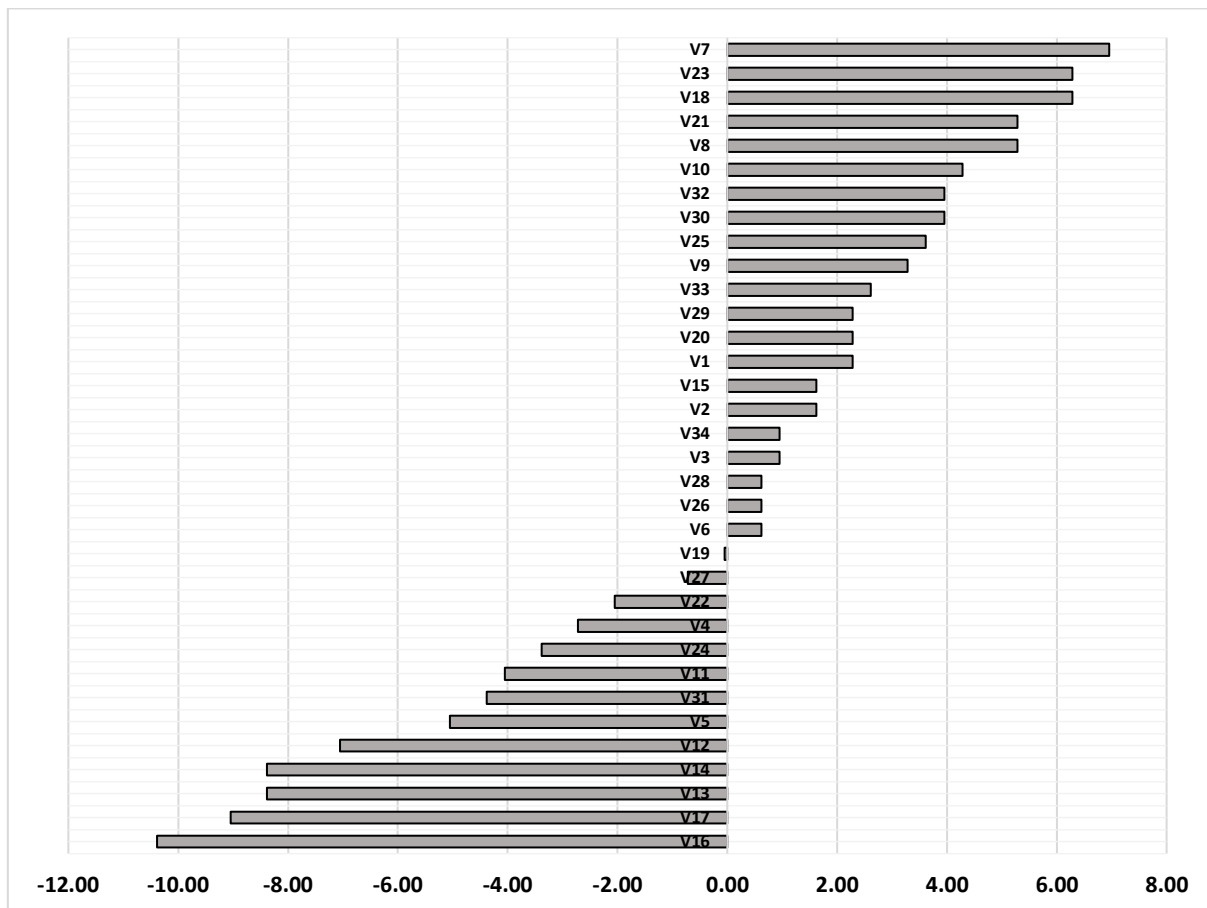


Figure 8 : Ecarts par rapport à la moyenne de l'indice de sédimentation des variétés étudiées.

III.1.2.8. Indice de chute

Chez les 34 variétés étudiées, l'indice de chute varie de 313.00s, valeur minimale observée chez la variété Sidi Okba (V29) à 625.00s, valeur maximale trouvée chez Anforeta (V6) (Tableau IV). La valeur moyenne générale de ce caractère est de 520.35s et la plus petite différence significative est de 121.50s. Relativement à la valeur moyenne d'indice de chute, les écarts de l'indice de chute des variétés étudiées sont indiqués en figure 9. En effet 12 cultivars affichent des valeurs négatives dans le sens désiré de la sélection. Les écarts les plus importants sont ceux générés par Zidane (V34), Boumerzoug (V10) et Ziad (V33) avec des valeurs qui dépassent la Ppds (Figure 9, Tableau IV). Ces variétés sont suggérées comme de bons géniteurs pour améliorer l'indice de chute via la sélection.

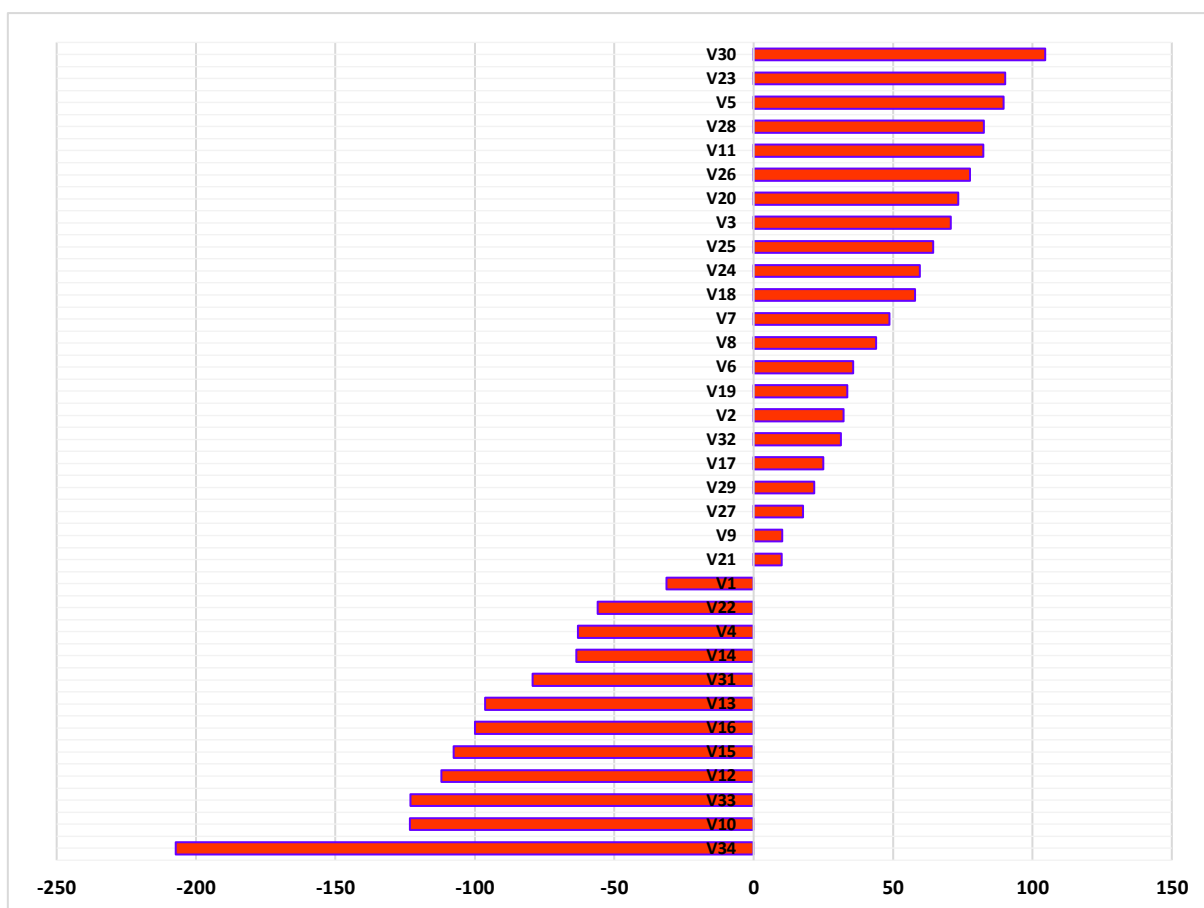


Figure 9 : Ecarts par rapport à la moyenne de l'indice de chute des variétés étudiées.

La mesure de l'activité amylasique revêt un intérêt capital, en particulier celle des α amylases qui est corrélée positivement avec la qualité du pain (Pomeranz, 1983). La teneur en α amylase est inversement proportionnelle au temps de chute de Hagberg. Cette méthode permet de déterminer indirectement la teneur en α amylase d'une farine donnée. Considérant que plus la teneur en α amylase de la farine est élevée, plus l'amidon est hydrolysé, plus la consistance de l'emploi formé lors du chauffage de la suspension est faible, et plus le viscosimètre descend rapidement dans le produit (Bourad, 2009 ; Djelti, 2014). A un temps de chute trop court on aura des pâtes collantes, un pain qui se déchire, une mie d'apparence grasse et une croûte fortement colorée (Mofakkir, 2016). Au contraire, à un temps de chute trop long on aura une fermentation lente, un pain insuffisamment développé et une croûte pâle (Mofakkir, 2016).

III.1.2.9. Rendement en grains

Les valeurs moyennes du rendement varient de 35.54 q/ha, valeur minimale mesurée chez la variété Rmada (V26) à 74.08 q/ha, valeur maximale enregistrée chez Almirante (V3) (Tableau IV), autour d'une moyenne générale de 54.14 q/ha et une valeur de la plus petite

différence significative de 20.79 q/ha. La figure 10 illustre les écarts des valeurs observées relativement à la valeur moyenne générale. On constate que dix-huit variétés affichent des écarts positifs (sens désiré de la sélection), ceux les plus marqués sont ceux exhibés par les variétés Almirante (V3), Zidane (V34), Buffalo (V11), Siete Cerros (V30) Orion (V24), Massine (V20) et Hidhab (V17), avec des estimations dépassant la valeur de la Ppds (Figure 10, Tableau IV).

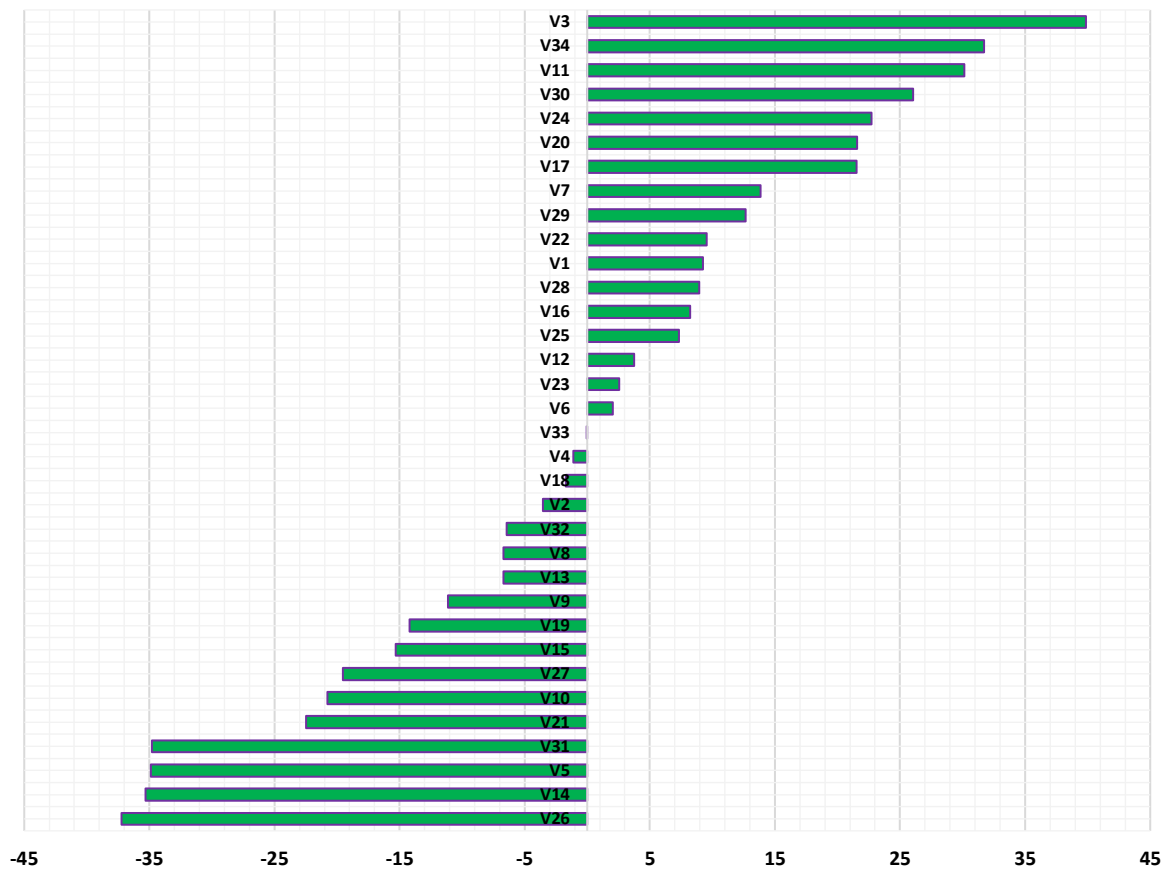


Figure 10 : Ecarts par rapport à la moyenne du rendement en grains des variétés étudiées.

Le rendement potentiel sous conditions de stress est contrôlé par les mêmes gènes pour un rendement sous conditions optimales. L'interaction 'génotype x environnement' est l'un des problèmes majeurs que rencontrent les sélectionneurs (Nouar *et al.*, 2012 ; Haddad *et al.*, 2016). Le plus important est de pouvoir comprendre l'interaction (G*E) permettant ainsi de comprendre la régulation des gènes et l'influence de l'environnement sur ces derniers (Kara, 2015 ; Kirouani *et al.*, 2018)

Pour des cultures pluviales telles que le blé, le souci premier doit être la répartition mensuelle de pluie et notamment celles coïncidant avec les périodes reproductrices et de maturation. Le déficit hydrique est le stress qui réduit la croissance et la production des

cultures, car il implique tous les processus physiologiques et chimiques de la plante, provoque des effets négatifs sur la transpiration, la photosynthèse, la respiration et les réactions métaboliques et produit des variations anatomiques (Ribot *et al.*, 2012).

III.1.3. Analyse des liaisons inter-caractères

Les coefficients de corrélations phénotypiques et génotypiques sont des paramètres importants en amélioration du blé (Fellahi *et al.*, 2013), ils sont utilisés pour déterminer le degré d'association entre paire de caractères mesurés. Lorsque la valeur prise par le coefficient de corrélation est proche de l'unité, elle est indicatrice de la dépendance des deux caractères, dont les gènes impliqués dans le contrôle génétique sont soit liés ou montrent un effet pléiotropique. Dans ce cas, si on connaît les valeurs d'un des deux caractères, on peut prédire les valeurs de l'autre caractère. La sélection de l'un conduit à la sélection de l'autre caractère simultanément (Acquaah, 2007). Un coefficient de corrélation de valeur zéro indique, par contre, que les deux caractères pris en considération sont indépendants l'un de l'autre du point de variation, donc ils peuvent être considérés comme étant sous contrôle génétique de gènes indépendants (Garcia del Moral *et al.*, 2005).

Les coefficients de corrélation entre les caractères mesurés sont donnés dans le tableau V. Sur le plan phénotypique et génotypique, les résultats indiquent que le taux de cendres est négativement corrélé avec le poids de mille grains, le taux de gluten humide et sec. Ce dernier est positivement corrélé au gluten humide et au taux de protéines qui présentent en elles-mêmes une liaison positive et significative avec l'indice de sédimentation. En plus de sa liaison avec les protéines, l'indice de sédimentation de Zeleny est fortement et positivement associé aux glutens humide et sec.

Tableau V : Coefficients de corrélation phénotypique (en dessus de la diagonale) et génotypique (en dessous de la diagonale) entre les variables étudiées.

Variables	PMG	H	TC	Pro	GH	GS	Sed	Ich	RDT
PMG		-0.0435	-0.4394	-0.0025	0.0412	0.0858	-0.1234	-0.2919	-0.2688
Hum	-0.0760		0.0199	0.0412	0.1045	0.0010	0.2261	0.0125	0.4650
Cen	-0.4617	0.0511		0.0934	-0.3425	-0.4439	-0.0542	0.0326	-0.0368
Pro	-0.0265	0.0383	0.0795		0.2926	0.4364	0.8013	0.1532	-0.1216
GH	0.0476	0.0921	-0.3694	0.3176		0.8609	0.3803	-0.1384	-0.0008
GS	0.0902	-0.1408	-0.4816	0.4997	0.8918		0.5392	-0.0236	-0.0704
Sed	-0.1334	0.3542	-0.0665	0.8591	0.4217	0.6028		0.3233	0.0691
Ich	-0.3424	0.1306	0.0284	0.1882	-0.2033	-0.0123	0.3747		0.1375
RDT	-0.4675	1.0646	-0.0126	-0.2298	0.0113	-0.0761	0.1237	0.2087	

PMG: Poids de 1000 grains, H: Humidité du grain, TC: Taux de cendres, Pro: Taux de protéines, GH: Gluten humide, GS: Gluten sec, Sed: Indice de sédimentation, Ich: Indice de chute, RDT: Rendement en grains, Valeurs en gras différent significativement de 0 au seuil de 5%.

L'autre corrélation significative est celle liant le rendement en grains et l'humidité du grain. Ces résultats indiquent que les génotypes à gros grains possèdent un taux de cendre réduit, des teneurs en gluten sec, humide et en protéines élevées. Génotypiquement, le poids de mille grains est négativement lié avec le rendement en grains et l'indice de chute. Ce dernier est positivement corrélé avec l'indice de sédimentation qui présente aussi une association positive et significative avec l'humidité du grain. Globalement, les génotypes productifs possèdent un poids du grain réduit et une qualité technologique médiocre et vice-versa. L'association non significative entre certains caractères, au niveau phénotypique, indique que l'effet environnement a agi dans un sens positif chez certaines variétés et dans l'autre sens chez d'autres, rendant ainsi ces relations moins évidentes (Fellahi *et al.*, 2013).

III.1.4. Estimation des paramètres génétiques et non génétiques

L'efficacité de sélection pour un caractère particulier dans une population dépend en grande partie des facteurs génétiques et non-génétiques affectant l'expression phénotypique (Fellahi *et al.*, 2017, 2018 ; Hannachi *et al.*, 2017). Les coefficients de la variation phénotypiques et génotypiques varient selon le caractère (Tableau VI).

Tableau VI : Paramètres génétiques et non génétiques des variables étudiées.

Paramètres	PMG	H	TC	Pro	GH	GS	Sed	Ich	RDT
σ_p^2	12.05	0.14	0.05	1.09	17.09	1.22	22.78	6477.65	408.32
σ_e^2	0.80	0.09	0.00	0.21	2.26	0.17	1.28	1851.65	216.79
σ_g^2	11.25	0.05	0.05	0.88	14.83	1.05	21.50	4626.00	191.53
H^2_{sl} (%)	93.34	38.49	95.13	80.49	86.79	86.26	94.39	71.41	46.91
CV_p (%)	8.73	3.30	14.10	6.93	12.88	9.97	17.43	15.47	37.32
CV_g (%)	8.44	2.05	13.75	6.22	12.00	9.26	16.93	13.07	12.78
CV_g/CV_e	2.16	0.46	2.55	1.17	1.48	1.45	2.37	0.91	0.54

PMG: Poids de 1000 grains, H: Humidité du grain, TC: Taux de cendres, Pro: Taux de protéines, GH: Gluten humide, GS: Gluten sec, Sed: Indice de sédimentation, Ich: Indice de chute, RDT: Rendement en grains, σ_p^2 : Variance phénotypique, σ_e^2 : Variance environnementale, σ_g^2 : Variance génotypique, H^2_{sl} : Héritabilité au sens large, CV_g : Coefficient de variation génotypique, CV_e : Coefficient de variation environnementale.

Ils représentent des valeurs faibles pour le poids de mille grains, la teneur en eau, en protéines et en gluten sec avec des valeurs inférieures à 10%. Ils sont juste moyens pour les autres caractères dont ses valeurs sont comprises entre 10 et 20%, à l'exception du CV_p pour le rendement en grains. Un coefficient de valeur élevée est indicateur d'une plus grande variabilité entre les génotypes pour le caractère considéré et à l'inverse un coefficient de variation de faible valeur et indicateur d'une faible variabilité entre les différents génotypes étudiés (Fellahi *et al.*, 2013). Les CV_g sont légèrement inférieurs aux CV_p , hormis le

rendement dont la différence est nette indiquant un effet milieu appréciable qui a agi sur le comportement des génotypes évalués.

Les valeurs de l'indice de variation CV_g/CV_e sont supérieures à l'unité pour la plupart des caractères à l'exception de l'humidité du grain, le rendement en grains et à moindre degré l'indice de chute (Tableau VI). Ceci suggère que ces caractères sont moins affectés par la variation du milieu. Par contre, des valeurs inférieures à 1, suggèrent un effet important de l'environnement sur l'expression de la variabilité phénotypique des caractères concernés. Ces résultats sont confirmés par les valeurs prises par l'héritabilité au sens large qui représente la part de la variabilité génétique par rapport à la variabilité phénotypique totale observée (Tableau VI). L'héritabilité est un indicateur pour prédire la réponse à la sélection : plus un caractère est héritable et plus la sélection est efficace et rapide pour faire évoluer la moyenne de la population (Fellahi *et al.*, 2018 ; Salmi *et al.*, 2019). Les valeurs prises par le coefficient de détermination génotypique au sens large sont élevées pour toutes les variables, hormis l'humidité du grain et le rendement confirmant que ces deux derniers sont fortement influencés par la variation du milieu.

III.2. Etude de la tolérance au stress hydrique des variétés étudiées

III.2.1. Analyse de la variance

L'analyse de la variance (ANOVA) révèle des effets 'génotype' et 'stress' hautement ($p < 0.01$) à très hautement significatifs ($p < 0.001$) pour l'ensemble des variables mesurées (Tableau VII). Ces résultats indiquent la présence d'une variabilité importante entre les génotypes étudiés qui, leurs caractères subissent des modifications majeures sous l'effet des différentes concentrations de stress hydrique appliqué. L'interaction 'génotype x stress' révèle un effet non significatif pour la plupart des caractères à l'exception de la matière fraîche racinaire qui exhibe un effet très hautement significatif ($p < 0.001$) suggérant que les génotypes testés réagissent différemment aux différentes concentrations de PEG6000 employées (Tableau VII).

La variation due à l'effet 'stress' représente quasi-totalité de la variation totale observée et ce pour tous les caractères mesurés telle qu'indiqué par les carrés moyens de l'ANOVA (Tableau VII). La variation due au facteur 'génotype' contribuent faiblement à cette variation alors que les variations dues à l'interaction 'génotype x stress' et à l' 'erreur' sont négligeables, hormis pour la MFR dont le carré moyen de l'ANOVA est très hautement significatif (Tableau VII).

Tableau VII : Carrés moyens de l'analyse de la variance des variables étudiées.

SV	ddl	NR	LR	LC	MFR	MFA
Génotype	33	4.0**	28.7***	72.1***	329.3***	1528.1***
Stress	2	202.2***	1068.5***	3225.4***	4400.2***	169082.8***
Génotype*Stress	66	2.0 ^{ns}	9.3 ^{ns}	19.5 ^{ns}	172.8***	791.4 ^{ns}
Erreur	204	2.2	8.7	16.5	86.8	664.6

NR= Nombre de racines, LR= Longueur des racines, LC = Longueur du coléoptile, MFR = Matière fraîche racinaire, MFA= Matière fraîche aérienne. ns, ** et *** : Différences non significative et significative au seuil de 1% et 0.1%, respectivement

III.2.2. Etude des valeurs moyennes

III.2.2.1. Effet moyen 'génotype'

L'analyse du tableau VIII indique que les valeurs moyennes prises par les caractères étudiés mesurés sont variables en fonction du caractère lui-même, d'un génotype à un autre et d'un niveau de stress à un autre. La moyenne générale de l'essai, prise par la variable pourcentage de germination, est de 52.43%. Ce pourcentage varie de 27.00%, valeur minimale obtenue chez Hidhab (V17) à 75.33% valeur maximale mesurée chez Guadalupe (V16) (Tableau VIII). Ces valeurs reflètent surtout l'effet du stress hydrique mais aussi celui de la qualité de la semence utilisée.

Chapitre III..... Résultats et Discussion

Tableau VIII : Valeurs moyennes des variables étudiées.

Génotypes	%G	NR	LR	LC	MFR	MFA
V1	37.33	3.22	7.82	11.71	23.26	59.24
V2	49.00	2.56	3.71	6.46	20.82	48.51
V3	48.67	2.89	6.17	9.19	14.17	54.81
V4	57.00	3.11	5.61	8.07	29.12	45.16
V5	69.67	3.33	5.98	7.80	18.22	62.31
V6	62.00	3.00	4.91	9.02	13.97	46.11
V7	41.00	3.44	6.37	8.18	12.54	48.83
V8	44.33	2.89	5.50	7.31	26.89	30.13
V9	46.67	3.00	3.97	7.12	10.43	43.19
V10	28.33	2.11	2.98	4.53	9.63	31.22
V11	62.67	3.33	5.70	9.16	9.11	56.46
V12	44.00	2.33	2.36	5.73	6.04	33.20
V13	43.00	2.67	4.82	6.53	7.69	44.11
V14	48.67	2.89	5.66	7.60	9.66	48.09
V15	66.33	3.33	4.02	9.56	20.33	50.38
V16	75.33	2.78	5.06	6.16	7.91	36.33
V17	27.00	2.78	4.74	6.94	8.32	42.01
V18	69.67	3.33	7.67	9.87	12.93	40.44
V19	54.00	3.11	6.24	16.13	10.61	59.38
V20	63.67	2.89	5.81	6.64	13.96	32.92
V21	56.67	3.44	5.89	10.19	9.78	44.88
V22	39.00	1.89	2.56	4.89	6.18	26.47
V23	59.00	3.22	7.56	12.96	8.99	46.70
V24	69.00	1.89	4.67	8.23	8.23	53.23
V25	70.00	2.78	6.59	10.10	13.04	61.13
V26	71.00	2.22	4.97	5.97	7.11	28.78
V27	65.33	1.44	2.41	4.08	3.58	21.41
V28	64.00	1.56	4.30	7.57	7.17	49.23
V29	43.00	2.89	6.04	8.57	9.11	48.76
V30	53.33	2.33	5.90	8.21	10.12	39.28
V31	34.33	4.11	7.91	12.30	12.82	70.27
V32	33.33	3.89	7.79	11.57	20.03	61.59
V33	46.33	3.78	8.94	13.74	15.10	56.47
V34	40.00	4.33	9.78	13.87	14.48	81.69
<i>Moyenne</i>	52.43	2.91	5.60	8.70	12.69	47.14
<i>Ppds_{5%}</i>	-	1.37	2.74	3.77	8.66	23.96

%G = Pourcentage de germination (%), NR = Nombre de racines (No), LR = Longueur des racines (cm), LC = Longueur du coléoptile (cm), MFR = Matière fraîche racinaire (cm), MFA= Matière fraîche aérienne (cm).

D'après les normes de l'association internationale d'essais de semences (ISTA, <https://www.seedtest.org/en/home.html>), une semence dont le pourcentage de germination est inférieur à 85% est de mauvaise qualité. Les causes de la variabilité des propriétés

germinatives sont multiples. La capacité germinative des graines dépend majoritairement des conditions dans lesquelles on les place (conditions de conservation et conditions de germination) mais aussi du patrimoine héréditaire (Côme, 1970).

La variété Zidane (V34) se distingue par le nombre de racines (4.33 racines/graine), la longueur des racines (9.78 cm) et la matière fraîche aérienne (81.69 g) les plus élevés. Mahon-Démias (V19) et Anapo (V4) présentent le coléoptile le plus long (16.13 cm) et la matière fraîche racinaire la plus élevée (29.12 g), respectivement. D'autre part, Salama (V27) présente le nombre de racines le plus réduit (1.44 racines/graine) et le coléoptile le plus court (4.08 cm). Cette variété a élaboré aussi les matières fraîches racinaire (3.58 g) et aérienne (21.41 g) les plus faibles.

III.2.2.2. Effet moyen 'stress'

Nous avons précédemment vu, l'analyse de variance a révélé un effet 'stress' très hautement significatif pour l'ensemble des caractères mesurés (Tableau II), qui explique la partie majeure de la variation totale observée. Le tableau IX montre les valeurs moyennes extrêmes minimales et maximales des caractères mesurés en fonction de la dose du stress hydrique appliqué. Les résultats montrent que les valeurs de tous les caractères sont réduites à mesure que le degré de stress hydrique augmente en intensité.

Tableau IX : Valeurs moyennes de l'effet 'stress' des caractères mesurés chez les variétés évaluées.

Variables	%G	NR	LR	LC	MFR	MFA
T0	71.21	4.38	9.11	15.03	19.54	93.49
T1	60.79	2.75	4.95	6.83	12.08	30.76
T2	26.18	1.58	2.74	4.26	6.44	17.17
<i>Moyenne</i>	<i>52.73</i>	<i>2.91</i>	<i>5.60</i>	<i>8.70</i>	<i>12.69</i>	<i>47.14</i>
<i>Ppds_{5%}</i>	-	<i>0.41</i>	<i>0.81</i>	<i>1.12</i>	<i>2.57</i>	<i>7.12</i>

%G = Pourcentage de germination (%), NR = Nombre de racines (No), LR = Longueur des racines (cm), LC = Longueur du coléoptile (cm), MFR = Matière fraîche racinaire (cm), MFA= Matière fraîche aérienne (cm).

Le pourcentage de germination (effet moyen) a passé de 71.21% en absence de stress (T0) à 26.18% en présence de 250g/l de PEG6000 (T2) autour d'une moyenne générale de 52.73%. On note aussi le même effet sur le nombre de racines dont la moyenne a diminué de 4.38 en T0 à 1.58 racines en T2 avec une moyenne générale de 2.91 racines et une plus petite différence significative de 0.41 cm. La longueur des racines a régressé de 9.11 cm en T0 à 2.74 cm en T2, autour d'une moyenne générale de 5.60 cm et une Ppds_{5%} de 0.81 cm. De même, la longueur du coléoptile a varié de 15.03 cm à 4.26 cm autour d'une moyenne

générale de 8.70 cm et une $Ppds_{5\%}$ de 1.12 cm. Les matières fraîches racinaire et aérienne prennent les mêmes tendances en décroissant quant à elles de 19.54 et 93.49 g à 6.44 et 17.17 g, respectivement pour les mêmes traitements (Tableau IX).

L'écart en % des valeurs prises par les variables mesurées relativement à la valeur maximale prise par le témoin (T0) indique que l'effet du PEG6000 est variable suivant le caractère mesuré et de l'intensité du stress appliqué (Figure 11). D'après la figure 11, le stress hydrique a réduit les valeurs prises par les variables %G, NR, LR, LC, MFR et MFA à 14.95, 35.36, 42.19, 54.42, 32.56 et 65.51% pour la dose 150 g/l PEG6000, respectivement. Sous stress sévère, les régressions sont plus marquées, elles sont estimées à 63.50, 62.99, 70.27, 71, 61.63 et 80.36% dans le même ordre (Figure 11). Ces résultats montrent l'effet dépressif important du PEG6000 sur les différents caractères évalués.

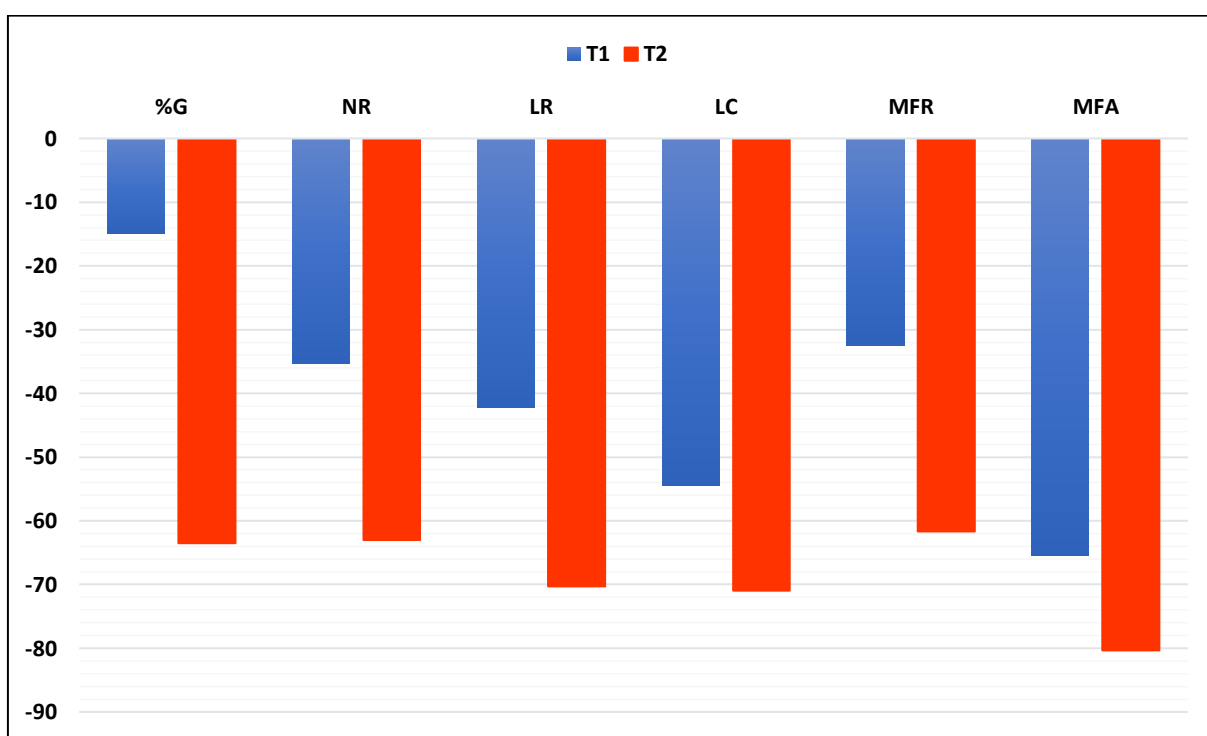


Figure 11 : Réduction en %, relativement au témoin T0, des valeurs prises par les variables mesurées chez les variétés de blé étudiées.

La germination est régulée par des caractéristiques génotypiques ainsi que par les conditions environnementales dont la quantité et la qualité de l'eau du milieu de germination (Zemour, 2014). Le procédé de germination consiste en une prise d'eau par la graine (imbibition) puis d'une elongation de l'embryon menant au final à l'apparition des racines (Bewley *et al.*, 1994). Selon Zemour (2014), l'absorption d'eau n'a lieu que si la valeur du potentiel hydrique des tissus constituant la graine, est inférieure à celle exprimée par le milieu

de germination. Des différences génotypiques de sensibilité au stress hydrique, au stade de la germination, ont été signalées par Benderradji *et al.* (2016). Cette inhibition de la germination résulterait en particulier d'une difficulté d'hydratation des tissus, qui se répercute sur le processus d'élongation de la radicule et d'une difficulté de la pénétration de la molécule d'eau dans les graines, ce qui ne favorise pas l'ajustement osmotique. Ceci explique nettement la diminution du % de germination par l'augmentation de concentration de PEG. Les résultats de cette étude sont en accord avec ceux obtenus par plusieurs auteurs dont Amoumen et Benhebireche (2013) et Bouakez et Hamadouche (2015) qui rapportent que la variation du taux de germination final de blé est fonction de l'intensité du stress hydrique appliqué. Dans ce contexte, Link *et al.* (2006) ont proposé ce paramètre comme critère de sélection pour la tolérance au stress abiotiques tels que le stress hydrique.

Le poids frais des organes est négativement affecté avec une réponse variable selon la durée et l'intensité du stress induit. Ceci traduit une limitation de l'accessibilité de la plante aux réserves en eau et en éléments nutritifs. L'intensité du stress hydrique imposé a provoqué une réduction de la longueur et du nombre de racines d'autant plus importante que le stress est plus sévère (Tableau IX, Figure 11). Cette réduction est due probablement à un arrêt de la division et de l'élongation cellulaire au niveau de la racine, conduisant à une sorte de tubérisation qui consiste à une lignification du système racinaire permettant à la plante une « entrée en vie » ralentie, en attendant que les conditions redeviennent favorables (Vartanian, 1973). Les résultats de notre étude sont en accord avec ceux obtenus par plusieurs auteurs comme Labdelli *et al.* (2013), Benkrinah, Hafia et Saidi (2018) qui ont montré que le déficit hydrique réduit considérablement la croissance du système racinaire.

Sous cette condition de stress hydrique, l'assimilation de l'eau par la plante est directement liée au degré de développement du système racinaire, plus le système racinaire est long et dense, il peut conférer un avantage en augmentant l'apport en eau de la partie aérienne (Temagoult, 2009). La longueur du coléoptile est aussi une caractéristique variétale fortement influencée par les effets du milieu. La sensibilité de la croissance en longueur du coléoptile au déficit hydrique a été évoquée par de nombreux résultats de recherche. Selon Moud et Maghsoudi (2008) un faible taux de croissance de la coléoptile est associé à une faible aptitude à l'osmorégulation. Issaad (2013) ainsi que Zemour (2014) ont observé une diminution accentuée de la longueur du coléoptile lorsque le déficit hydrique est d'autant plus élevé. Ces effets s'expriment par des contraintes dans le déroulement de la multiplication et la croissance cellulaires de cet organe.

Selon Zhu (2001) la réduction de croissance des parties aériennes est une capacité adaptative nécessaire à la survie des plantes exposées à un stress abiotique. Par ailleurs, l'arrêt de l'apport en eau entraîne une réduction de la surface foliaire (donc la biomasse aérienne) des plantes sous stress hydrique (Parry *et al.*, 2005 ; Lebon *et al.*, 2006). Cette caractéristique est l'une des premières réactions des plantes au déficit hydrique. Cette diminution est une réponse à la déshydratation et contribue à la conservation des ressources en eau, ce qui permet la survie des plantes (Lebon *et al.*, 2004).

III.2.2.3. Effet de l'interaction 'génotype x stress'

Les résultats de l'analyse de la variance, à deux facteurs (génotype et stress) ont montré un effet d'interaction 'génotype x stress' non significative pour l'ensemble des caractères mesurés, hormis la matière fraîche racinaire pour laquelle cette interaction est très hautement significative (Tableau III), indiquant que les variétés ainsi évaluées réagissent différemment aux doses de stress hydrique appliquées. Pour rendre l'interprétation plus simple, nous nous sommes basés sur l'étude des valeurs prises par les écarts résultant des différences entre les moyennes de chaque variété aux traitements T1 (150 g/l) et T2 (250 g/l) relativement au témoin non stressé T0 et ce pour chaque caractère. Le degré de tolérance de telle variété est alors jugé en se basant sur les valeurs des écarts ainsi générés ; plus la valeur de l'écart est importante moins la variété est tolérante et vice versa. Pour cela nous avons adopté l'échelle suivante : un tel génotype est considéré comme tolérant à une dose donnée si la valeur de l'écart généré est supérieure à -30%. Ce génotype est jugé comme sensible lorsque cette valeur est inférieure à -60%. On le considère comme moyennement sensible si la valeur de l'écart est comprise entre -30 et -60%.

Le tableau X illustre les valeurs des écarts en %, par rapport aux valeurs du témoin non stressé, des variables mesurées. Les variétés jugées comme tolérantes à telle dose pour tel caractère sont indiquées par un symbole vert (écart supérieure à -30%) ; celles les plus sensibles (écarts inférieure à -60%) sont signalées par un symbole rouge et celles intermédiaires (écarts compris entre -30 et -60%) sont marquées par un symbole orange.

Pour le pourcentage de germination (%G), 26 (76.5%) sur 34 variétés testées sont tolérantes au stress hydrique à la dose modérée (T1 = 150 g/l PEG6000), huit (23.5%) variétés sont moyennement sensibles, et aucune variété n'est fortement sensible à ce stress. Sous la dose sévère (T2 = 250 g/l PEG6000), seulement Buffalo (V11) et Orion (V24) sont tolérantes. Les autres variétés expriment une sensibilité moyenne (12 variétés, soit 35%) à élevée (20 variétés, soit 59%).

Tableau X : Ecart en % des valeurs prises par les variables mesurées chez le blé tendre relativement au témoin non stressé.

Variables	%G		NR		LR		LC		MFR		MFA	
	T1	T2	T1	T2	T1	T2	T1	T2	T1	T2	T1	T2
V1	▲ -44	▼ -66	▲ -43	▼ -50	▲ -32	▼ -48	▲ -44	▼ -54	▲ 30	▲ -27	▲ -21	▼ -36
V2	▲ -21	▼ -69	▼ -67	▼ -80	▼ -86	▼ -91	▼ -84	▼ -87	▲ -38	▲ -41	▼ -84	▼ -88
V3	▲ -8	▼ -68	▼ -63	▼ -75	▲ -58	▼ -69	▼ -61	▼ -71	▲ 3	▼ -62	▼ -71	▼ -75
V4	▲ -16	▼ -78	▲ 11	▲ 0	▲ 59	▲ -10	▲ -6	▲ -26	▲ 160	▲ 101	▲ -50	▼ -71
V5	▲ -23	▼ -62	▲ -35	▼ -88	▲ -20	▼ -84	▼ -71	▼ -89	▲ -27	▼ -99	▼ -67	▼ -95
V6	▲ 1	▼ -66	▲ -53	▼ -67	▲ -36	▼ -76	▼ -72	▼ -76	▲ -47	▼ -78	▼ -88	▼ -89
V7	▲ -20	▼ -71	▲ -47	▼ -71	▲ -58	▼ -65	▼ -75	▼ -80	▼ -70	▼ -75	▼ -89	▼ -95
V8	▲ -31	▼ -65	▲ -46	▲ -54	▲ -56	▼ -73	▲ -50	▼ -76	▼ -87	▼ -92	▲ -21	▲ -35
V9	▲ -52	▼ -61	▲ -33	▼ -87	▲ -43	▼ -98	▲ -49	▼ -93	▲ -46	▼ -86	▲ -49	▼ -95
V10	▲ -58	▼ -87	▼ -73	▼ -100	▲ 33	▼ -100	▼ -89	▼ -97	▲ -26	▼ -100	▼ -78	▼ -100
V11	▲ 14	▲ -25	▲ -40	▲ -60	▲ -35	▼ -75	▲ -49	▲ -59	▼ -70	▼ -95	▲ -52	▼ -78
V12	▲ 22	▲ -58	▼ -71	▼ -79	▲ -43	▼ -69	▼ -69	▼ -70	▼ -75	▼ -93	▼ -60	▼ -82
V13	▲ 7	▼ -77	▲ -42	▲ -58	▼ -68	▼ -85	▼ -73	▼ -81	▲ -32	▼ -61	▼ -86	▼ -81
V14	▲ 27	▲ -41	▲ -53	▼ -73	▲ -45	▼ -94	▼ -62	▼ -97	▲ -41	▼ -82	▲ -56	▼ -90
V15	▲ 0	▲ -35	▲ -7	▼ -93	▲ -19	▼ -91	▲ -54	▼ -100	▼ -60	▼ -100	▲ -52	▼ -100
V16	▲ -7	▲ -48	▲ -38	▼ -69	▲ -45	▲ -48	▲ -22	▲ -37	▲ -20	▲ -20	▲ -56	▼ -72
V17	▲ -39	▲ -47	▲ 0	▼ -73	▲ -36	▼ -78	▲ -37	▼ -92	▲ 5	▼ -85	▼ -67	▼ -94
V18	▲ -5	▲ -46	▲ -17	▲ -33	▲ -51	▲ -46	▲ -58	▼ -61	▲ -15	▼ -61	▼ -72	▼ -93
V19	▲ 15	▼ -76	▲ -17	▲ -50	▲ 1	▲ -57	▲ -25	▼ -69	▲ -13	▲ -14	▼ -66	▼ -80
V20	▲ -11	▼ -90	▲ -10	▲ -30	▲ -50	▲ -53	▲ -55	▼ -78	▲ 15	▼ -73	▼ -63	▼ -97
V21	▲ -12	▲ -58	▲ -50	▲ -56	▲ -45	▲ -55	▲ -57	▼ -63	▲ -31	▲ -37	▲ -53	▼ -62
V22	▲ -40	▼ -88	▼ -75	▼ -83	▼ -82	▼ -97	▼ -76	▼ -91	▲ -60	▼ -97	▼ -77	▼ -99
V23	▲ 11	▲ -59	▲ 0	▲ -36	▲ -57	▼ -61	▲ -26	▲ -29	▲ 8	▲ -6	▲ -59	▼ -65
V24	▲ -4	▲ -20	▲ -60	▼ -70	▼ -66	▼ -84	▲ -57	▼ -75	▼ -70	▼ -73	▼ -74	▼ -90
V25	▲ -12	▲ -38	▲ -43	▼ -79	▲ -44	▼ -93	▲ -49	▼ -89	▲ -35	▼ -91	▼ -70	▼ -91
V26	▲ -4	▲ -33	▲ -33	▼ -100	▼ -83	▼ -100	▼ -87	▼ -100	▼ -77	▼ -100	▼ -93	▼ -100
V27	▲ -13	▲ -43	▼ -92	▼ -100	▼ -95	▼ -100	▼ -95	▼ -100	▼ -87	▼ -100	▼ -97	▼ -100
V28	▲ -18	▼ -69	▲ 0	▼ -100	▼ -78	▼ -92	▼ -74	▼ -91	▼ -68	▼ -65	▼ -80	▲ -56
V29	▲ -24	▲ -58	▲ -23	▼ -77	▲ -41	▼ -77	▲ -57	▼ -74	▼ -72	▼ -65	▼ -81	▼ -73
V30	▲ -19	▼ -88	▲ -40	▲ -50	▼ -76	▼ -76	▼ -75	▼ -83	▲ -49	▼ -67	▼ -85	▼ -89
V31	▲ -19	▼ -100	▲ -14	▲ -21	▲ -18	▲ -29	▲ -32	▲ -17	▲ -29	▲ -34	▼ -67	▼ -81
V32	▲ -51	▼ -90	▲ -14	▲ -36	▲ -2	▲ -24	▲ -8	▲ -25	▲ -35	▲ -40	▲ -35	▲ -48
V33	▲ -16	▼ -83	▲ 0	▲ -17	▲ -31	▲ -42	▲ -15	▲ -46	▲ -28	▲ -37	▲ -48	▼ -65
V34	▲ -41	▼ -97	▲ -13	▲ -27	▲ -24	▲ -50	▲ -34	▲ -38	▲ -21	▲ -38	▼ -61	▼ -70

%G = Pourcentage de germination, NR = Nombre de racines, LR = Longueur des racines, LC = Longueur du coléoptile, MFR = Matière fraîche racinaire, MFA= Matière fraîche aérienne.

Pour le nombre de racines (NR), 13 variétés (38%) de blé tendre sont tolérantes à la dose modérée du stress, en assumant des réductions n'excédant pas les 30% relativement au témoin. Ces variétés sont Anapo (V4), Florence-Aurore (V15), Hidhab (V17), Hodna (V18), Mahon-Démias (V19), Massine (V20), Nesser (V23), Sensas (V28), Sidi Okba (V29), Tamezghida (V31), Tidis (V32), Ziad (V33) et Zidane (V34). En outre, 6 variétés (18%) sont hautement sensibles et les 15 variétés (44%) restantes sont intermédiaires (Tableau X). A la dose 250 g/l PEG6000, les variétés tolérantes sont Anapo (V4), Massine (V20), Tamezghida

(V31), Tidis (V32) et Zidane (V34), soit 15% des variétés testées. Cependant, 9 (X%) et 19 - X%) sont les nombres de variétés moyennement et fortement sensible, respectivement (Tableau X).

Concernant la longueur des racines (LR), huit variétés (23.5%) sont qualifiées comme tolérantes au stress hydrique à la dose modérée (T1) en exhibant des écarts, en valeurs absolues, inférieurs à 30%. Ces variétés sont Anapo (V4), Andana (V5), Boumerzoug (V10), Florence-Aurore (V15), Tamezghida (V31), Tidis (V32), Zidane (V34) et Mahon-Démias (V19). 18 variétés (53%) sont jugées comme moyennement sensibles et 8 autres sont sensibles à cette contrainte. Sous forte dose (T2), seulement trois variétés (23.5%) : Anapo (V4), Tamezghida (V31) et Tidis (V32) expriment leur tolérance au stress hydrique. Les autres génotypes sont moyennement (8 variétés soit 23.5%) sensible à hautement (23 variétés soit 68%) sensibles (Tableau X).

L'écart (%) des valeurs prises par le caractère longueur de coléoptile (LC) montre qu'il y a 6 variétés (18%) tolérantes au stress hydrique à la dose 150 g/l PEG6000. Il s'agit de Anapo (V4), Guadalupe (V16), Mahon-Démias (V19), Nesser (V23), Tidis (V32) et Ziad (V33). On note que 14 variétés (41%) sont moyennement sensibles et le même nombre (41%) est alloué aux variétés sensibles. Sous une concentration plus forte (150 g/l PEG6000), les génotypes tolérants (4 variétés soit 11.5%) sont représentés par Anapo (V4), Tamezghida (V31), Tidis (V32) et Nesser (V23). Cinq variétés (15%) sont moyennement sensibles et 25 variétés (73.5%) sont, par contre, hautement sensibles (Tableau X).

Quatorze (41%) variétés sont tolérantes à la dose de stress hydrique modérée de par leurs matières fraîches racinaires (MFR) et 20 variétés (59%) sont moyennement à hautement sensibles, réparties équitablement sur les deux classes de classification. Toutefois, on observe que Ain Abid (V1) et Anapo (V4), Guadalupe (V16), Mahon-Démias (V19) et Nesser (V23) sont les seules variétés (14.7% des variétés testées) aptes à confronter le stress sévère. Cinq génotypes (14.7%) exhibent des réponses moyennes et les 24 variétés restantes (70.6%) sont très sensibles (Tableau X).

Concernant le caractère MFA, sous le traitement modéré T1, Ain Abid (V1) et Arz (V8) sont les seules variétés (6%) tolérantes en exprimant des écarts très réduits en valeurs absolues. Dix variétés (29%) sont moyennement sensibles et 22 autres (65%) sont sensibles. Sous une concentration de PEG6000 élevée (T2), les résultats montrent que le stress hydrique sévère affecte sérieusement la MFA, aucun génotype ne montre sa tolérance au stress hydrique. 30 variétés (88%) sont fortement sensibles et quatre autres cultivars sont moyennement sensible (12%) (Tableau X).

D'une manière générale, les résultats de la présente contribution montrent clairement que lorsque la dose de stress augmente, une diminution appréciable des caractères mesurés est observée. Toutefois, cette diminution reste fonction de la dose appliquée, du génotype testé et du type d'organe évalué. Certaines variétés sont pénalisées sous une seule concentration de stress alors que d'autres sont pénalisées pour toutes les doses. De même, certaines variétés sont affectées par le stress dans un seul organe alors que certaines d'autres sont touchées dans tous les compartiments de la plantule. Dans la mesure de bien juger le comportement des génotypes testés et identifier ceux sensibles et ceux tolérants ayant la capacité à accumuler plus de matières fraîches leurs les feuilles et racines sur tous les traitements de PEG6000, nous avons effectué un classement des génotypes, en se basant sur les valeurs prises par les écarts précédemment discutés par caractère et par traitement. Plus l'écart est important, moins le génotype est tolérant de par le caractère et à la dose considérés ; il se positionne alors en bas de la liste. La somme des rangs est par la suite calculée par génotype en additionnant les valeurs des classements obtenues. Cette caractéristique est utilisée comme un critère de distinction entre les variétés testées, moins la somme des rangs est réduite plus le génotype est tolérant et vice versa.

L'ordre de classement et la somme des rangs obtenus sont résumés dans le tableau XI. Les résultats indiquent que le classement des génotypes varie en fonction du caractère et de la dose de stress appliquée. Les valeurs de la somme des rangs varient de 69, valeur minimale prise par Anapo (V4), à 362, valeur maximale notée chez Salama (V27). Anapo (V4) est, donc, la variété la plus tolérante parmi toutes les variétés de blé tendre testées alors que Salama (V27) est celle la plus sensible en se en prenant la première et la dernière position, respectivement (Tableau XI).

Les valeurs de la somme des rangs (prise ici comme une variable décrivant la tolérance au stress hydrique) sont soumises ensuite à une classification univariée (univariate clustering), en fixant un nombre de classes égale à 3 (tolérantes, moyennement sensibles et sensibles). Les résultats ainsi obtenus sont représentés dans la figure 12. Cette dernière permet de qualifier Anapo (V4), Nesser (V23), Ziad (V33), Mahon-Démias (V19), Tidis (V32), Guadalupe (V16), Ain Abid (V1) Tamezghida (V31), Zidane (V34), Hodna (V18), Mezghana (V21) et Buffalo (V11) comme des variétés tolérantes par ordre décroissant. Les variétés les plus sensibles sont, par ordre décroissants, Salama (V27), Mimouni (V22), Boumerzoug (V10), Rmada (V26), Akhamokh (V2) et Anza (V7). Les autres variétés forment un groupe intermédiaire des génotypes moyennement sensibles (Figure 10).

Tableau XI : Classement des variétés de blé tendre.

Variétés	%G		NR		LR		LC		MFR		MFA		Σ rangs
	T1	T2	T1	T2	T1	T2	T1	T2	T1	T2	T1	T2	
V1	31	19	22	11	10	7	10	8	2	5	1	2	128
V2	24	21	30	26	33	26	31	23	19	11	28	18	290
V3	13	20	29	22	25	14	21	14	6	14	21	12	211
V4	18	26	1	1	1	1	1	3	1	1	6	9	69
V5	25	16	16	29	7	23	24	24	12	30	19	26	251
V6	7	18	27	16	13	18	25	18	22	21	31	19	235
V7	23	23	24	19	26	13	28	20	28	20	32	27	283
V8	27	17	23	12	23	16	14	17	33	26	2	1	211
V9	33	15	14	28	15	31	12	29	21	24	5	28	255
V10	34	28	32	33	2	32	33	31	11	32	25	32	325
V11	4	2	18	15	11	17	11	9	29	28	7	13	164
V12	2	12	31	25	16	15	23	13	31	27	13	17	225
V13	6	25	20	14	28	24	26	21	16	12	30	15	237
V14	1	6	26	21	18	29	22	30	20	22	10	22	227
V15	8	4	6	30	6	25	15	33	25	31	8	31	222
V16	12	10	17	17	20	6	4	5	9	4	11	10	125
V17	28	9	2	20	12	21	9	28	5	23	17	25	199
V18	11	8	11	6	22	5	20	10	8	13	22	24	160
V19	3	24	12	9	3	11	5	12	7	3	16	14	119
V20	14	31	7	5	21	9	16	19	3	19	15	29	188
V21	16	13	25	13	19	10	18	11	15	7	9	5	161
V22	29	30	33	27	31	30	30	26	24	29	24	30	343
V23	5	14	3	8	24	12	6	4	4	2	12	7	101
V24	10	1	28	18	27	22	17	16	27	18	23	21	228
V25	15	5	21	24	17	28	13	25	18	25	20	23	234
V26	9	3	15	32	32	33	32	34	32	33	33	33	321
V27	17	7	34	34	34	34	34	32	34	34	34	34	362
V28	20	22	5	31	30	27	27	27	26	15	26	4	260
V29	26	11	13	23	14	20	19	15	30	16	27	11	225
V30	21	29	19	10	29	19	29	22	23	17	29	20	267
V31	22	34	10	3	5	3	7	1	14	6	18	16	139
V32	32	32	9	7	4	2	2	2	17	10	3	3	123
V33	19	27	4	2	9	4	3	7	13	8	4	6	106
V34	30	33	8	4	8	8	8	6	10	9	14	8	146

%G = Pourcentage de germination, LR= Longueur des racines, NR= Nombre de racines, LC = Longueur du coléoptile, MFR = Matière fraîche racinaire, MFA= Matière fraîche aérienne.

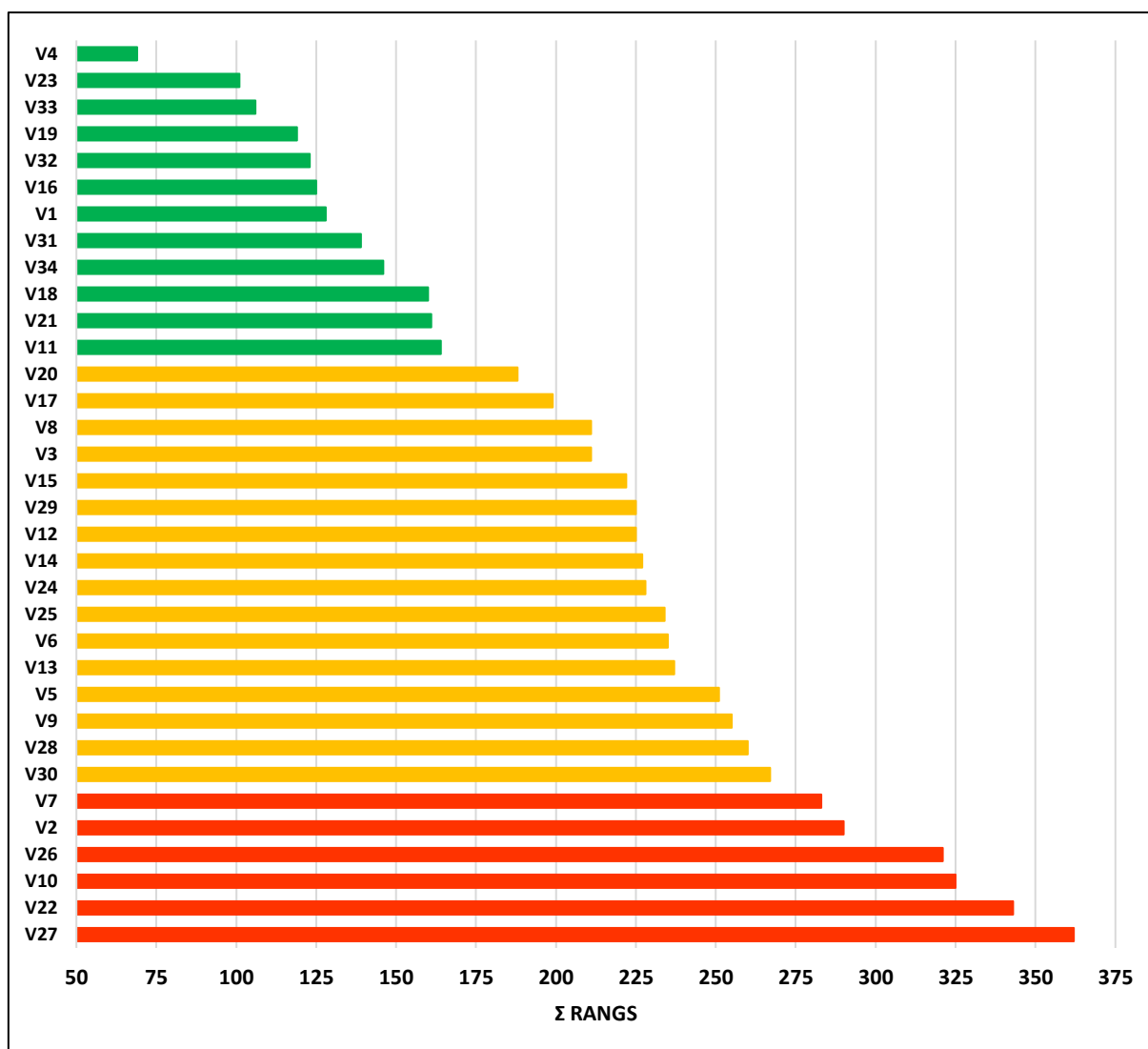


Figure 12 : Somme des rangs des variétés de blé tendre évaluées.

III.3. Typologie variétale

La classification hiérarchique multivariée sur la base de l'ensemble des variables mesurés dans les deux expériences (performance, qualité technologique et tolérance au stress hydrique) montre que les variétés évaluées se répartissent en trois groupes distincts (Figure 13). Le premier groupe (G1) est formé par les variétés Ain Abid (V1), Anapo (V4), Guadalupe (V16), Tamezghida (V31), Ziad (V33) et Zidane (V34). Le second groupe (G2) est constitué des variétés suivantes Boumerzoug (V10), Djanet (V12), Djemila (V13), El Wifak (V14), Florence-Aurore (V15) et Mimouni (V22). Le dernier groupe (G3) est le plus large et est formé des 22 variétés restantes (Figure 13).

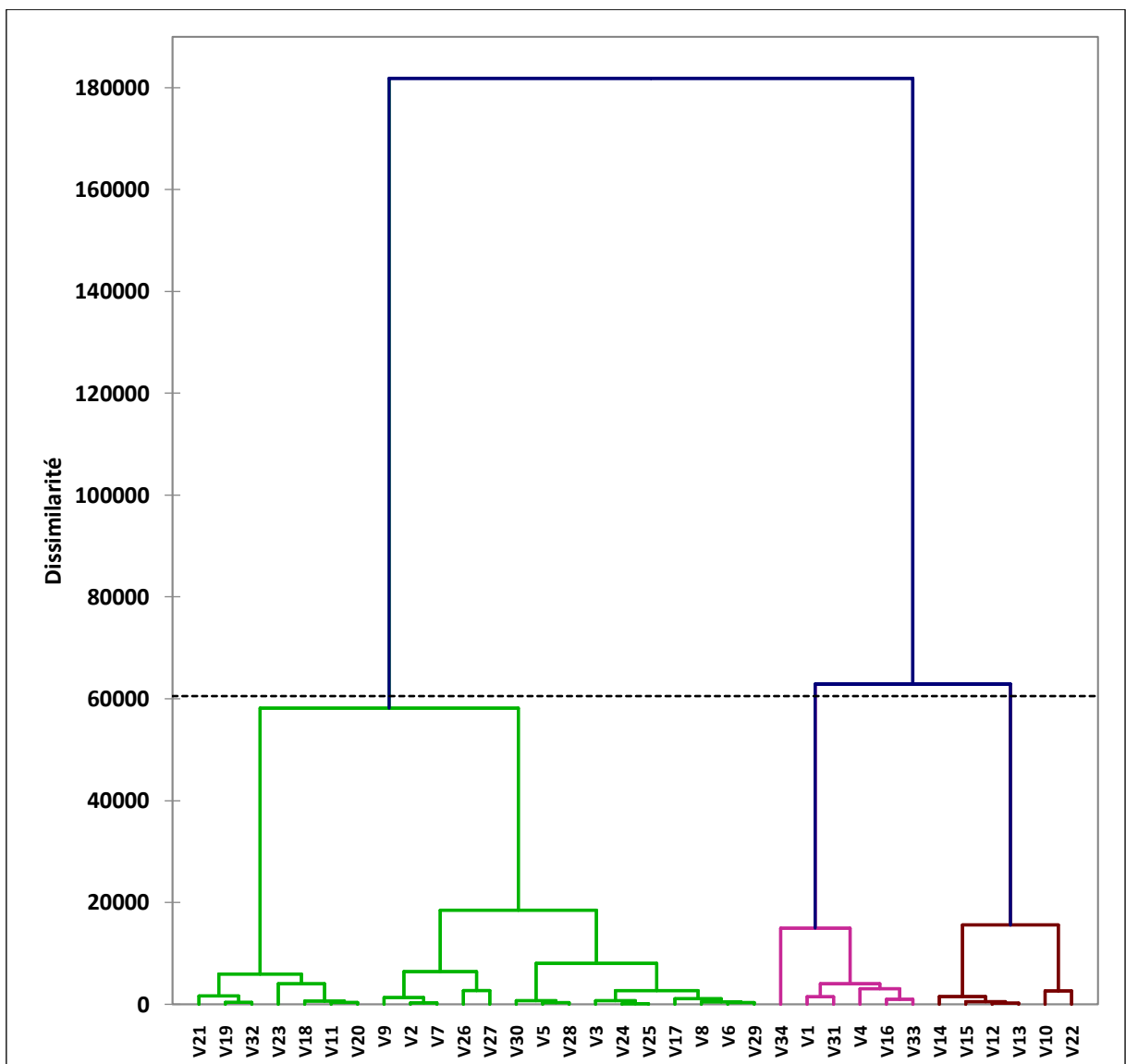


Figure 13 : Groupage des variétés de blé tendre évaluées.

Les caractéristiques de chaque groupe sont données en tableau XII. Le groupe G1 se différencie du groupe G3 pour la plupart des variables mesurées qui représentent la qualité

technologique et la tolérance au stress hydrique. Le premier comporte les variétés à %G et PMG moyens, une qualité moins appréciée et une bonne tolérance au stress hydrique alors que l'autre groupe est constitué des génotypes à %G élevé, une meilleure qualité technologique du produit moulu avec une sensibilité moyenne au stress hydrique. Les deux groupes (G1 et G3) se ressemblent, par contre, pour le PMG et la performance de rendement, ils regroupent les variétés les plus productives.

Tableau XII : Valeurs caractéristiques des groupes de variétés de blé identifiés.

Groupes	%G	PMG	H	TC	Pro	GH	GS	Sed	Ich	RDT	ΣR
G1	48.39	39.44	11.50	1.73	14.75	31.56	10.42	25.44	419.67	55.24	118.83
G2	44.89	43.54	11.05	1.45	14.49	32.65	11.52	24.06	427.17	48.74	263.17
G3	55.59	38.80	11.29	1.60	15.28	32.10	11.16	28.82	573.23	55.31	220.36

%G = Pourcentage de germination (%), PMG = Poids de 1000 grains (g), H = Humidité du grain (%), TC = Taux de cendres (%), Pro = Taux de protéines (%), GH = Gluten humide (%), GS = Gluten sec (%), Sed = Indice de sédimentation (%), Ich = Indice de chute (Sec), RDT = Rendement en grains (q/ha), ΣR = Somme des rangs.

Relativement aux autres groupes, le cluster G2 regroupe les variétés à gros grains, une qualité technologique juste moyenne (meilleure teneur en glutens sec et humide mais faible teneur en protéines), une performance médiocre et une forte sensibilité au stress hydrique au stade plantule (Tableau X). Globalement, on peut qualifier les trois groupes générés comme suit :

- G1 : est le groupe des variété performantes, tolérantes au stress hydrique et à faible qualité technologique ;
- G2 : est le groupe des variétés moins performantes, fortement sensibles au stress hydrique et à qualité technologique moyenne ;
- G3 : est le groupe des variétés performantes, moyennement sensible au stress hydrique et à bonne qualité technologique.

Ces résultats suggèrent la difficulté de regrouper toutes les caractéristiques désirables dans un même fond génétique. Dans la littérature, beaucoup de recherche ont mis en évidence la relation négative entre la productivité et la qualité technologique chez blé (Barnard *et al.*, 2002 ; Chung *et al.*, 2003 ; Oury *et al.*, 2003 ; Yagdi et Sozen, 2009 ; Maich *et al.*, 2017 ; Ayed *et al.*, 2018), une association qui amenuisent l'effort du sélectionneur et rend le processus de sélection plus délicat. Toutefois, cette étude a permis d'offrir des informations précieuses aux sélectionneurs du blé qui, dans les programmes d'amélioration futurs, peuvent les exploiter pour développer des génotypes performants, adaptés et appréciés par la qualité technologique de leur produit moulu.

Conclusion

Conclusion

Ce travail avait pour objectif de caractériser une collection de variétés de blé tendre d'origines diverses pour les paramètres associés à la qualité technologique et au degré de tolérance au déficit hydrique au stade juvénile.

Les résultats de la première partie, qui porte sur l'appréciation de la qualité des produits bruts broyés des variétés étudiées, indiquent des différences génotypiques significatives à très hautement significatives pour l'ensemble des variables mesurées. Toutefois, les valeurs extrêmes minimales et maximales sont variables d'un caractère à un autre et d'un génotype à un autre. Aucun génotype ne présente les meilleures valeurs pour tous les caractères dans le sens désiré de la sélection. La présence de la variabilité est consolidée par les valeurs prises par le CV_g dont ces valeurs excèdent les 10%. Les caractères mesurés sont fortement héritables tel qu'indiqué par le degré de détermination génotypique au sens large, à l'exception pour l'humidité du grain et le rendement qui demeurent sous influence de l'environnement comme le confirme l'indice de variation.

La seconde partie a permis de donner une vue globale sur le comportement des variétés testées, sous différents niveaux de stress hydrique généré par le PEG6000 et appliqué au stade germination-levée. Nos résultats suggèrent l'effet dépressif du stress appliqué sur les variables mesurées dont le pourcentage de germination, la longueur et le nombre de racines, la longueur du coléoptile et les matières fraîches racinaire et aérienne, qui subissent des diminutions, par rapport au témoin, de 63.50, 62.99, 70.27, 71, 61.63 et 80.36% sous une forte de 150 g/l PEG6000. Cet effet de 'stress' explique quasi-totalité de la variation totale observée pour tous les caractères mesurés telle qu'indiqué par les carrés moyens de l'analyse de la variance. Toutefois, en plus de la dose appliquée, cette diminution reste en fonction du génotype testé et du type d'organe mesuré. Globalement, nos résultats ont montré que Anapo (V4), Nesser (V23), Ziad (V33), Mahon-Démias (V19), Tidis (V32), Guadalupe (V16), Ain Abid (V1) Tamezghida (V31), Zidane (V34), Hodna (V18), Mezghana (V21) et Buffalo (V11) sont les variétés les plus tolérantes au stress hydrique au stade juvénile. Celles les plus sensibles sont Salama (V27), Mimouni (V22), Boumerzoug (V10), Rmada (V26), Akhamokh (V2) et Anza (V7).

La classification hiérarchique multivariée basée sur l'ensemble des variables mesurés dans les deux expériences indique que les variétés évaluées se répartissent en trois groupes. Le premier groupe (G1) est formé par les variétés performantes, tolérantes au stress hydrique et à faible qualité technologique. Le second groupe (G2) est constitué des variétés moins performantes, fortement sensibles au stress hydrique et à qualité

technologique moyenne. Le dernier groupe (G3) regroupe les variétés performantes, moyennement sensible au stress hydrique et à bonne qualité technologique. Ces résultats suggèrent la difficulté de regrouper toutes les caractéristiques désirables (performance, qualité technologique et tolérance au stress hydrique) dans un même fond génétique. Toutefois, ils mettent à la disposition des sélectionneurs des informations précieuses qui pourront être utiles dans les programmes futurs d'amélioration du blé tendre.

Il serait intéressant de poursuivre ces travaux par des études plus approfondies comme le dosage de la matière grasse, des gliadines et des gluténines, test de panification et mesure de la consistance de la pâte, comprendre profondément les mécanismes physiologiques et génétiques impliquées dans la tolérance au stress hydrique au stade juvénile et à d'autres stade de développement.

REFERENCES
BIBLIOGRAPHIQUES

Liste des références bibliographiques

- Abad A., Lloveras J. & Michelena A. (2004).** Nitrogen fertilization and foliar urea effects on durum wheat yield and quality and on residual soil nitrate in irrigated Mediterranean conditions. *Field Crops Research* 87, 257-269.
- Abbassenne F. (1997).** Etude génétique de la durée des phases de développement et leur influence sur le rendement et ses composantes chez le blé dur (*Triticum durum* Desf.). *Thèse de Magister INA*, 81p.
- Acquaah G. (2007).** Principals of plant genetics and breeding. *Blackwell Publishing*, Exford, UK.
- Ait-Kaki S. (2008).** Contribution à l'étude de l'interaction génotype x milieu, pour la qualité technologique chez le blé dur en Algérie. Thèse de doctorat, Univ *Badji Mokhtar Annaba*, 174p.
- Alem C., Labhilili M., Brahmi K., Jlibene M., Nasrallah N. & Filali-Maltouf A. (2002).** Adaptations hydrique et photosynthétique du blé dur et du blé tendre au stress salin. *C. R. Biologies* 325, 1097-1109
- Ali Dib T., Monneveux P. & Araus J. L. (1992).** Adaptation à la sécheresse et notion d'idiotype chez le blé dur. II. Caractères physiologiques d'adaptation. *Agronomie* 12 : 381-393.
- Amira D. & Fadel M. (2013).** La Sélection Variétale du Blé Dur à Partir des Paramètres Technologiques. Mémoire de Master, Univ *8 Mai 1945 de GUELMA*, 59p.
- Amoumen S. & Benhebireche N. (2013).** Contribution à l'étude de la tolérance au déficit hydrique du blé dur (*Triticum durum* Desf). Mémoire de Master, Univ *Kasdi Merbah Ouargla*, 60p.
- Annicchiaric P., Abdellaoui Z., Kelkouli M. & Zerargui H. (2005).** Grain yield, straw yield and economic value of tall and semi-dwarf durum wheat cultivars in Algeria. *The journal of agricultural science* 143(1), 57-64.
- Annicchiaric P., Bellah F. & Chiari T. (2006).** Defining sub regions and estimating benefits for a specific adaptation strategy by breeding programs: a case study. *Crop science* 45, 1741-1749
- Antoine C., Lullien-Pellerin V., Abecassis J. & Rouau X. (2002).** Nutritional interest of the wheat seed aleurone layer. *Sciences Des Aliments* 22: 545-556.
- Aucamp U., Labuschagne M. T. & van Deventer C. S. (2006).** Stability analysis of kernel and milling characteristics in winter and facultative wheat. *South African Journal of Plant and Soil* 23(3), 152-156.
- Ayed S., Othmani A., Bechrif S., Rezgui M. & Ben Younes M. (2018).** Correlation between agronomical and quality traits in durum wheat (*Triticum durum* Desf.) germplasm in semi arid environment. *Advances in Plants & Agriculture Research* 8(6), 612-615.
- Bachtarzi N & Bensaad N. (2015).** L'adaptation au stress hydrique chez le blé dur (*Triticum durum* Desf) : Criblage des critères physiologiques et biochimiques. Mémoire de Master, *Univ des Frères Mentouri Constantine*, 67p.
- Bajji M. (1999).** Etude des mécanismes de résistance au stress hydrique chez le blé dur: caractérisation de cultivars différant par leurs niveaux de résistance à la sécheresse et de variants somaclonaux in vitro. Thèse de doctorat, faculté des sciences, *Université catholique de Louvain*.
- Bajji M., Lutts S. & Kinet J. M. (2000).** La résistance au stress hydrique chez le blé dur : Comparaison des comportements au niveau cellulaire et au niveau de la plante entière. *Options Méditerranéennes : série A. séminaires méditerranéens* 40, 227-231
- Baldy C. (1986).** Comportement des blés dans les climats méditerranéens. *Ecologia Mediterranea*, (12), 73-88.
- Baldy C. (1992).** Effet du climat sur la croissance et le stress hydrique du blé en Méditerranée Occidentale. In Tolérance à la sécheresse des céréales en zone méditerranéenne, diversité génétique et amélioration variétale. *Montpellier, Les Colloques* 55, 191-203.

- Baloch M. J., Dunwell J., Khakwani A. A., Dennett M., Jatoi W. A. & Channa S. A. (2012).** Assessment of wheat cultivars for drought tolerance via osmotic stress imposed at early seedling growth stages. *Journal of Agricultural Research* 50(3), 299-310.
- Barnard A. D., Labuschagne M. T. & Van Niekerk H. A. (2002).** Heritability estimates of bread wheat quality traits in the Western Cape province of South Africa. *Euphytica* 127(1), 115-122.
- Bednarek J. (2012).** *Analyse fonctionnelle de TaGW2, une E3 ligase de type RING, dans le développement du grain de blé tendre (Triticum aestivum) Sciences agricoles. Université Blaise Pascal – Clermont Ferrand II, Français, 187p.*
- Bedrani S. (2004).** L'alimentation de rue en Algérie : quelques réflexions sur la base d'une enquête visuelle rapide. Alger. *Options Méditerranéennes* (36), 25-46.
- Ben Salem M., Boussen H. & Slama A. (1997).** Évaluation de la résistance à la contrainte hydrique et calorique d'une collection de blé dur : recherche de paramètres précoces de sélection. Sixièmes Journées scientifiques du réseau Biotech.-Génie Génétique des plantes, Agence francophone pour l'enseignement supérieur et la recherche (AUPELF / U R E F). Orsay. *Sécheresse* 2, 75-83
- Benaceur M., Gharbi M. S. & Paul R. (1999).** L'amélioration variétale et les autres actions contribuant à la sécurité alimentaire en Tunisie en matière de céréales. *Sécheresse* 10, 27-33.
- Bendarradji L., Bouzerzour H., Ykhlef N. & Djekoun A. (2010).** Etude de mécanismes de tolérance à la salinité chez deux variétés de blé tendre (*Triticum aestivum* L) soumis à un stress salin. *Science & Technologie C-N° 32*, 23-30.
- Benderradji L. (2013).** Sélection in vitro pour la tolérance aux stress salin et thermique chez le blé tendre (*Triticum aestivum* L.). Thèse de doctorat en sciences, *Univ des Frères Mentouri*, 135 p.
- Benderradji L., Hadji N., Kellou K., Benniou, R. & Brini F. (2016).** Effet du NaCl et PEG 6000 sur le comportement morpho-physiologique et biochimique des variétés de blé dur et tendre cultivées *in vitro* en milieu hydroponique. *Revue Agriculture* 1, 278-286.
- Bendjama A., Bouzerzour H. & Benbelkacem A. (2014).** Adaptability of durum wheat genotypes (*Triticum turgidum* L. var *durum*) to contrasted locations. *Australian Journal of Basic and Applied Science* 8(6), 390-396.
- Bengriche T. & Tiliouine N. (2017).** Analyses physico-chimiques et technologiques des farines issues du moulin de « Baghlia » Mémoire de master, *Univ M'Hamed Bougara Boumerdès*, 36p.
- Benhania Z. (2013).** Etude de la fabrication de la farine et contrôle de sa qualité. Mémoire de master, *Univ Kasdi Merbah Ouargla*, 52p.
- Benjelloun M., Rais C., Wahid N., El Ghadraoui L. & Mhamdi M. A. (2013).** Evaluation de la tolérance de *Myrtus communis* L. au stress hydrique au stade germinatif. *Bulletin de l'Institut Scientifique, Rabat, Section Sciences de la Vie* 35, 19-26.
- Benkrinah K., Hafiani A. & Saidi S. (2018).** Etude de paramètres morphologiques, physiologiques et biochimique due au stress hydrique chez trois variétés du blé dur (*Triticum durum* Desf). Mémoire de master, *Univ 8 Mai 1945 de Guelma*, 50p.
- Benmahammed A., Bouzerzour H., Mekhlouf A. & Benbelkacem A. (2008).** Variation de la teneur relative en eau, l'intégrité cellulaire, la biomasse et l'efficacité d'utilisation de l'eau des variétés de blé dur (*Triticum turgidum* L. var *durum*) conduites sous contraintes hydrique. *Recherche Agronomique, INRA* 21, 37-47.
- Benseddik S. (2017).** Evaluation de la qualité technologique et physico - chimique des farines produites par les différentes minoteries de la wilaya de Tlemcen. Mémoire de master. *Univ Abou Bekr Belkaid*, 65p.
- Berka S. & Aïd F. (2009).** Réponses physiologiques des plants d'*Arganiaspinosa* (L.) Skeels soumis à un déficit hydrique édaphique. *Sécheresse* 20, 296-30
- Bewley J. D. & Black M. (1994).** Cellular events during germination and seedling growth. *In Seeds* (pp. 147-197). Springer, Boston, MA.

- Blum A. & Pnuel Y. (1990).** Physiological attributes associated with drought resistance of wheat cultivars in a Mediterranean environment. *Australian Journal of Agricultural Research* 41(5), 799-810.
- Bolot S., Abrouk M., Masood-Quraishi U., Stein N., Messing J., Feuillet C. & Salse J. (2009).** The “inner circle” of the cereal genomes. *Current opinion in plant biology* 12(2), 119-125.
- Bonjean A. (2001).** Histoire de la culture des céréales et en particulier de celle du blé tendre (*Triticum aestivum* L). In : S. Le Perchec, P. Guy, A. Fraval: Agriculture et biodiversité des plantes. *Dossier de l'environnement de l'INRAA* 21, 29-37.
- Bouakez D. & Hamadouche I. (2015).** Effet du stress hydrique au stade de germination sur la croissance de quelque génotype du blé dur (*Triticum durum* Desf.). Mémoire de master, *Univ des Frères Mentouri Constantine*, 51p.
- Bouatrous Y. (2013).** Effet du stress salin et l'haplodiploïdisation chez le blé dur (*Triticum durum* Desf.). Thèse de doctorat en sciences, *Univ Mentouri De Constantine*, 151p.
- Bouatrous Y., Ykhlef N., Mohei eldin Solliman Mohamed. (2009).** Physiological behaviour of durum wheat plants (*Triticum durum* Desf) grown in salt medium. *Egyptian Journal of Basic and Applied Sciences* 24 (2A), 40-47.
- Boukarboua A. & Boulkroun M. (2016).** Appréciation de la qualité technologique des farines commerciales par des tests indirects. Mémoire de master, *Univ des Frères Mentouri Constantine*, 44p.
- Boulala Z. & Rouabeh A. (2018).** Appréciation de la qualité technologique de 8 variétés homologuées de blé dur cultivées dans la région de Constantine. Mémoire de Master, *Univ des Frères Mentouri Constantine*, 52p.
- Boulgheb A. (2008).** Caractérisation de quelques variétés /populations de blé tendre saharien de la région d'ADRAR. Mémoire de Magister, *Institut national agronomique EL Harrach*, 111 p.
- Bourad D. (2009).** Étude du potentiel technologique de la farine de blé dur : panification. Mémoire de Magister, *Univ Abderrahmane Mira-Bejaïa*, 70 p.
- Bourdeau A. & Menard A. (1992).** Le blé : éléments fondamentaux et transformation. Les presses de l'université LAVAL, Canada.
- Bousba R., Ykhlef N. & Djekoun A. (2009).** Water use efficiency and flag leaf photosynthetic in response to water deficit of durum wheat (*Triticum durum* Desf.). *World Journal of Agricultural Sciences* 5, 609-616.
- Bouzerzour H., Djekoune A., Benmahammed A. & Hassous L. (1998).** Contribution de la biomasse aérienne, de l'indice de récolte et de la précocité au rendement de l'orge (*H vulgare* L.) en zone semi aride d'altitude, méthode et technique. *Cahiers agricultures* 7, 307-17.
- Bouzerzour H. & Benmahammed A. (1994).** Environmental factors limiting barley grain yield in the high plateau of eastern Algeria. *Rachis* 7, 11-14
- Boyacioglu M H. & d'Appolonia B. L. (1994).** Durum wheat for bread making: Comparison of chemical, rheological and baking properties between bread wheat flours and durum wheat flours. *Cereal Chemistry* 71(1), 21-27.
- Branlard G. & Chevallet C. (1984).** Sur la diversité des blés tendres cultivés en France », *Agronomie*, 4 (10), 933-938.
- Bressan R. A., Singh N. K., Handa A. K., Konowicz A. & Hasegawa P. M. (1985).** Stable and unstable tolerance to NaCl in cultured tobacco cells, In: M. Freeling (Ed.), *UCLA Symposium on plant genetics*, A.R. Liss, *New York*, pp. 755-779.
- Calvel R. (1980).** La panification : pâte, fermentation, mise en forme. *La boulangerie moderne*, Paris, EYROLLES, pp. 112-142.
- Campbell K. G., Bergman C. J., Gualberto D. G., Anderson J. A., Giroux M. J., Hareland, G., Fulcher R. G., Sorrells M. E. & Finney P. L. (1999).** Quantitative trait loci associated with kernel traits in a soft x hard

wheat cross. *Crop Science* 39(4), 1184-1195.

Castro M., Peterson C. J., Rizza M. D., Dellavalle P. D., Vazquez D., Ibanez V. & Ross A. (2007). Influence of heat stress on wheat grain characteristics and protein molecular weight distribution. *Wheat Production in Stressed Environments* 12, 365-371.

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

Chantret N., Salse J., Sabot F., Rahman S., Bellec A., Laubin B., Dubois I., Dossat C., Sourdille P., Joudrier P., Gautier M. F., Cattolico L., Beckert M., Aubourg S., Weissenbach J., Caboche M., Bernard M., Leroy P. & Chalhoub B. (2005). Molecular basis of evolutionary events that shaped the hardness locus in diploid and polyploid wheat species (*Triticum* and *aegilops*). *The plant cell* 17(4), 1033-1045.

Chaves M. M., Pereira J. S., Maroco J., Rodrigues M. L., Ricardo C. P. P., Osorio M. L., Carvalho I., Faria T. & Pinheiro C. (2002). how plants cope with water stress in the field? photosynthesis and growth. *Annals of botany* 89(7), 907-916.

Chellali B. (2007). Marché mondial des céréales : L'Algérie assure sa sécurité alimentaire. <http://www.lemaghreb.dz.com/admin/folder01/une.pdf>

Chennafi H., Aidaoui A., Bouzerzour H. & Saci A., (2006). Yield response of durum wheat (*Triticum Durum* Desf.) cultivar Waha to deficit irrigation under semi arid growth conditions. *Asian Journal of Plant Sciences* 5, 854-860.

Cheriet G. (2000). Etude de la galette : différents types, recette et mode de préparation. Thèse de magister, INATAA. Université de Constantine, 99 p.

Chung O. K., Ohm J. B., Lookhart G. L., & Bruns R. F. (2003). Quality characteristics of hard winter and spring wheats grown under an over-wintering condition. *Journal of cereal science*, 37(1), 91-99.

CIC., Conseil International des Céréales., (2016). Les statistiques mondiales, calculées par le Conseil International des Céréales. *Marché des céréales*, 399p.

Clarke J. M., Romagosa I. & DePauw R. M. (1991). Screening durum wheat germplasm for dry growing conditions. *Morphological and physiological criteria*, *Crop Science* 3, 770-775.

CNCC (2015). Bulletin des variétés de céréales autogames. *Edition* 2015, 257p.

Collinson S., Clawson E., Azam-Ali S. & Black C. (1997). Effects of moisture deficits on the water relations of Bambara groundnut (*Vigna subterranean* L. Verdc.). *Journal of Experimental Botany* 48, 877-84.

Côme D. (1970). *Les obstacles à la germination*. Masson & Cie, Paris, 135 p.

Dakheel A. J., Naji I., Mahalazkshmi V. & Peacock J. M. (1993). Morphological traits associated with adaptation of durum wheat to harsh Mediterranean environments. *Aspects of Applied Biology* 34, 297-30.

Daniels N. W. R., Frazier P. J. & Wood P. S. (1971). Flour lipids and dough development. *Bakers Digest* 45(4), 20.

Debaeke P., Purch J. & Casal M. L. (1996). Elaboration du rendement de blé d'hiver en condition de déficit hydrique. Etude en Lysimètre. *Agronomie* 16, 3-23.

Dhanda, S. S. & Sethi G. S. (2002). Tolerance to drought stress among selected Indian wheat cultivars. *The Journal of Agricultural Science*, 139(3), 319-326.

Diehl R. (1975). Agriculture générale. *Editions J.B. Baillière*, 396p.

Djekoun A. & Ykhlef N. (1996). Déficit hydrique, effet stomatique et non stomatique et activité photosynthétique chez quelques génotypes de blé tétraploïdes. 3ème Réunion du réseau SEWANA, de blé dur IAV HASSAN II du 67 décembre 1996 (Maroc).

- Djelti H. (2014).** Etude de la qualité du blé tendre utilisée en meunière algérienne. Mémoire Ing. D'Etat, *Univ Abou Bekr Belkaid – Tlemcen*, 53p.
- Djenane A. (1998).** Ajustement structurel et secteur agricole. *In : les Cahiers du CREAD n°46*, Alger, pp :123-134.
- Djermoun A. (2009).** La production céréalière en Algérie : les principales caractéristiques. *Revue Nature et Technologie* 1, 45-53.
- El Hadeif El Okki L. (2015).** Valeurs d'appréciation de la qualité technologique et biochimique des nouvelles obtentions variétales de blé dur en Algérie. Mémoire de Magister, *Univ Ferhat Abbas Sétif 1*, 76p.
- El Jaafari, S. & Paul R. (1993).** Accumulation foliaire de proline et résistance à la sécheresse chez le blé (*Triticum aestivum* L). *Archives of Physiology and Biochemistry* 101, 8.
- Evers A. D., Blakeney A. B. & O'Brien L. (1999).** Cereal structure and composition. *Australian Journal of Agricultural Research* 50, 629-650.
- Evers T. & Millar S. (2002).** Cereal grain structure and development: some implication for quality. *Journal of Cereal Science* 36, 261-284.
- Feillet P. (2000).** Le grain de blé composition et utilisation. *INRA, Paris*, 308p.
- Fellahi Z. (2013).** Aptitude à la combinaison et héritabilité de quelques caractères agronomiques du blé tendre (*Triticum aestivum* L.). Mémoire de Magister, Département des Sciences Agronomiques. *Université Saad Dahlab de Blida*, 124p.
- Fellahi Z., Hannachi A., Guendouz A., Bouzerzour H. & Boutekrabt A. (2013).** Genetic variability, heritability and association studies in bread wheat (*Triticum aestivum* L.) genotypes. *Electronic Journal of plant breeding* 4(2), 1161-1166.
- Fellahi Z. (2017).** Analyse génétique d'un croisement line x testeur, réponse à la sélection et tolérance des stress du blé tendre (*Triticum aestivum* L.) sous condition semi-aride, thèse de doctorat en science, *Univ. Ferhat Abbas Sétif 1*, 227p.
- Fellahi Z., Hannachi A., Ferras K., Oulmi A., Boutalbi W., Bouzerzour H. & Benmahammed A. (2017).** Analysis of the phenotypic variability of twenty F3 biparental populations of bread wheat (*Triticum aestivum* L.) Evaluated under semi-arid environment, *Journal of Fundamental and Applied Sciences* 9(1), 102-118.
- Fellahi Z., Hannachi A., Oulmi A. & Bouzerzour H. (2018).** Analyse des aptitudes générale et spécifique à la combinaison chez le blé tendre (*Triticum aestivum* L.). *Revue Agriculture* 09(1), 60-70.
- Fellahi Z., Hannachi A. & Bouzerzour H. (2019).** Expected genetic gains from mono trait and indexes based selection in advanced bread wheat (*Triticum aestivum* L.) population. *Revista Facultad Nacional de Agronomía* (Soumis).
- Foudili D. & Gasmî A. (2017).** Stress de la sécheresse chez quatre variétés du Blé dur (*Triticum durum* Desf.) : Un examen sur quelque caractéristique morphologique et sur les pigments. Mémoire de Master, *Univ Mohamed Boudiaf - M'sila*, 52 p.
- Gaff D. F. (1980).** Protoplasmic tolerance of extreme water stress. Eds. *Adaptation of plants to water and high temperature stress*, pp: 207-230.
- Garcia del Moral L. F., Rharrabti Y., Elhani S., Martos V. & Royo C. (2005).** Yield formation in Mediterranean durum wheat under two contrasting water regimes based on path-coefficient analysis. *Euphytica* 143, 213-222.
- Gate P., Bouthier A., Casabianca H. & Deleens E. (1993).** Caractères physiologiques décrivant la tolérance à la sécheresse des blés cultivés en France : interprétation des corrélations entre le rendement et la composition isotopique du carbone des grains. Colloque Diversité génétique et amélioration variétale Montpellier (France). *Les colloques*. 64. Inra. Paris.

- Ghennai A., Zérafa Ch. & Benlaribi M. (2017).** Étude de la diversité génétique de quelques variétés de blé tendre (*Triticum aestivum* L.) et de blé dur (*Triticum durum* Desf.) selon la base des caractères de l'U.P.O.V. *Journal of Applied Biosciences* 113, 11246-11256.
- Godon B. & Willm C. (1998).** Industrie des premières transformations des céréales, Tec et doc, Lavoisier. Paris.
- Godon B., (1995).** Le pain. Pour la science. Dossier hors-série de mars (science et gastronomie), pp : 16-25
- Gonzalez A., Martin I., Ayerbe L. (1999).** Barley yield in water stress conditions. The influence of precocity, osmotic adjustment and stomatal conductance. *Field Crop Research* 62, 23-34.
- Grennan A. K. (2006).** High Impact Abiotic Stress in Rice An « Omic) Approach; *plant physical* 140, 1139-1141.
- Gresel E. (2000).** Les caractéristiques des blés de récolte 1999, vues par la méthode Gluten index. *Industries des céréales* 118, 20-27.
- Groos C., Robert N., Bervas E. & Charmet G. (2003).** Genetic analysis of grain protein content, grain yield and thousand-kernel weight in bread wheat. *Theoretical and Applied Genetics* 106(6), 1032-1040.
- Gueraiche S. (2016).** Diversité génétique et adaptation de quelques variétés de blé dur -*Triticum durum* Desf: Utilisation des marqueurs moléculaires. *Univ des Frères Mentouri Constantine*, 60 p.
- Hacini N. (2014).** Etude de l'interaction Génotype X Environnement et effet de l'origine de quelques cultivars de blé dur (*Triticum durum* Desf.) sur les aptitudes adaptatives et qualitatives. Thèse de Doctorat en sciences, Univ Badji Mokhtar Annaba, 107 p.
- Haddad L., Bouzerzour H., Benmahammed A., Zerargui H., Hannachi A., Bachir A., Salmi M., Oulmi A., Fellahi Z., Nouar H. & Laala Z. (2016).** Analysis Of Genotype x Environment Interaction For Grain Yield In Early and Late Sowing Date On Durum Wheat (*Triticum durum* Desf) Genotypes. *Jordan Journal Of Biological Sciences* 9(3), 139-146
- Hannachi A. (2013).** Analyse diallèle de quelques caractères associés à l'adaptation du blé dur (*Triticum durum* Desf.) au climat semi-aride. Mémoire de Magister, Faculté des Sciences Agrovétérinaires et biologiques, Département des Sciences Agronomiques. *Université Saad Dahlab de Blida*, 106 p.
- Hannachi A., Fellahi Z. & Bouzerzour H. (2017).** A Genetic Analysis of Some Metric Traits in a 6 x 6 Half-Diallel Crosses of Durum Wheat (*Triticum turgidum* L. var. *durum*) under Semi-Arid Conditions. *Jordan Journal of Agricultural Sciences* 13(4), 215-227.
- Hannachi A., Fellahi Z., Bouzerzour H. & Boutekrabi A., (2013).** Diallel-cross analysis of grain yield and stress tolerance-related traits under semi-arid conditions in Durum wheat (*Triticum durum* Desf). *Electronic Journal Plant Breeding* 4, 1027-1033
- Henchi B. (1987).** Effets des contraintes hydriques sur l'écologie et l'écophysologie de *Plantago albicans* L. *Thèse de doctorat d'État, université de Tunis*
- Henry Y. & Buysier J. (2001).** L'origine des blés. De la graine à la plante. *Ed. Belin, Paris*, pp: 69-72.
- Igrejas G., Gaborit T., Oury F. X., Chiron H., Marion D. & Branlard G. (2001).** Genetic and environmental effects on puroindoline-a and puroindoline-b content and their relationship to technological properties in French bread wheats." *Journal of cereal Science* 34(1), 37-47.
- INRAA. (2016).** Bilan de la campagne céréalière 2014/2015. Observatoire National des filières Agricoles et Agroalimentaires, 12 p.
- ISSAAD G. (2013).** Statut nutritionnel et plasticité de réponses aux stress chez un modèle végétal : *Triticum durum* Desf. Thèse de doctorat, Univ Badji Mokhtar, Annaba, 140 p.
- Jamieson P. D. & Cloughley C. G. (2000).** Impact of Climate Change on Wheat Production, pp: 57-64.

- Johansson E. (2000).** Environmental effects on wheat proteins. *Wheat Gluten* (261), 480-483.
- Jones C. A., Pena D. & Carabaly A. (1980).** Effects of plant water potential, leaf diffusive resistance, rooting density and water use on the dry matter production of several tropical grasses during short periods of drought stress. *Tropical Agriculture* 57(3), 211-219.
- Kara K. (2015).** Interactions génotype-milieu de variétés de blé tendre (*Triticum aestivum* L.) sous stress hydrique. Thèse de doctorat en sciences, *Univ Des Frères Mentouri Constantine*, 171p.
- Khakwani A. A., Dennett M. D. & Munir M. (2011).** Early growth response of six wheat varieties under artificial osmotic stress condition. *Pakistan Journal of Agricultural Sciences* 48, 113-123.
- Kirouani, A., Henkrar, F., Udupa, S.M., Boukhalfoun, L. & Bouzerzour, H. (2018).** Genetic diversity in algerian durum wheat varieties (*Triticum turgidum* L. var. *durum*) using microsatellite markers. *Bioscience Journal, Uberlândia* 34(6), 1575-1583.
- Kleijer G. (2002).** Sélection des variétés de blé pour la qualité boulangère. *Revue Suisse Agriculture* 34(6), 253-259.
- Kolai T. (2008).** Climat et dysfonctionnement des agro-systèmes céréalier cas des wilayas Sétif, Bordj Bou Arréridj et Mila. Mémoire de Magister, *Institut national agronomique EL Harrach*, 68 p.
- Kumar V. & Shukla Y. M. (2014).** Pre-breeding: Its application in crop improvement. *Research News for U (RFNU)* 16, 2250-3668.
- Laala Z., Oulmi A., Saraoui T., Haddad L., Nouar H., Benmahammed A. & Bouzerzour H. (2009).** Effet de la sélection de la biomasse et des épis sur le rendement du blé dur (*Triticum durum* Desf) sous conditions semi-arides.1 : Vol. 1 N° 4
- Labdelli A. (2012).** Etude des effets des variations morpho-structurales du système racinaire pour la tolérance a la sécheresse du blé dur (*Triticum durum* Desf.). Mémoire de magister, *Univ d'Oran ES-SENIA*, 85 p.
- Labdelli A., Adda A. & Soualem S. (2013).** Étude des caractères morphologiques et anatomiques des racines séminales du blé dur (*Triticum durum* Desf.) soumis au déficit hydrique en milieu hydroponique. *Revue Ecologie-Environnement* (9), 1-5.
- Lebon E., Pellegrino A., Louarn G. & Lecoeur J. (2006).** Branch development controls leaf area dynamics in grapevine (*Vitisvinifera*) growing in drying soil. *Annals of Botany* 98, 175-185.
- Lebon E., Pellegrino A., Tardieu F. & Lecoeur J. (2004).** Shoot development in grapevine is affected by the modular branching pattern of the stem and intra and intershoot trophic competition. *Annals of Botany* 93, 263-274.
- Lery F. (1982).** L'agriculture au Maghreb ou pour une agronomie méditerranéenne. *Ed. Maisonneuve et Larose, Paris*, 338p.
- Link J., Graeff S., Batchelor W. D. & Claupein W. (2006).** Evaluating the economic and environmental impact of environmental compensation payment policy under uniform and variable-rate nitrogen management. *Agricultural Systems* 91(1-2), 135-153.
- Lopes M. S., Reynolds M. P., Jalal-Kamali M. R., Moussa K. S., Feltaous M. Y., Tahir I. S. A., Barma N., Vargas, Mannes M. Y. & Baum M. (2012).** The yield correlations of selectable physiological traits in a population of advanced spring wheat lines grown in warm and drought environments. *Field Crops Research* 128, 129-136.
- Loucif H. & Mahmoudi I. (2018).** Etude de la variabilité morpho-physiologique d'un germoplasme de blé tendre (*Triticum aestivum*L.). Sous conditions semi-arides. Mémoire de master, *Univ Mohamed El Bachir El Ibrahimi BBA*, 51 p.
- Malki R. & Malki Y. (2016).** Détermination des caractéristiques physico-chimiques et technologiques des différents passages d'un moulin industriel ERIAD TADEMAIT. Mémoire de Master, *Univ M'hamed Bouguara Boumerdes*, 66p.

- Martinez J. P., Silva H., Ladent J. F. & Pinto M. (2007).** Effect of drought stress on the osmotic adjustment, cell wall elasticity and cell volume of six cultivars of common beans (*Phaseolus vulgaris* L.). *European journal of agronomy* 26, (1) 30-38.
- Mauze C., Richard M. & Scotti G. (1972).** Guide pratique : contrôle de la qualité des blés. Ed. ITCF, 160p.
- Mazouz L. & Bouzerzour H. (2017).** Etude de la contribution des paramètres phéno-morphologiques dans la sélection du blé dur (*Triticum durum* Desf.) dans le climat semi-aride. *Science & Technologie* 35, 45-58.
- McKevith B. (2004).** Nutritional aspects of cereals. *Nutrition Bulletin* 29, 111-142.
- Mefti M., Abdelguerfi A. & Chebouti A. (2000).** Etude de la tolérance à la sécheresse chez quelques populations de *Medicago truncatula* (L.) Gaertn. *Options Méditerranéennes HEAM*, 173-176.
- Mekhlouf A., Bouzerzour H. & Dehbi F. (2001).** Rythme de développement et variabilité de réponses du blé dur (*Triticum durum* Desf.) Aux basses températures. Tentatives de sélection pour la tolérance au gel. *In : Proceeding séminaire sur la valorisation des milieux semi-arides*. Oum El Bouaghi, 23, 75-80.
- Mekhlouf A., Bouzerzour H., Benmahammed A., Hadj Sahraoui A. & Harkati N. (2006).** Adaptation des variétés de blé dur (*Triticum durum* Desf.) au climat semi-aride. *Sécheresse* 17, 507-513.
- Mekhlouf A., Dehbi F., Hannachi A. & Harbi M. (2012).** Réponses du blé dur (*Triticum durum*, Desf.) aux basses températures en relations avec la capacité de production. *Revue Agriculture* 3, 13-23.
- Messaâdi H. & Samaï S. (2016).** Etude comparative des paramètres physicochimiques, technologiques, rhéologiques et microbiologiques des différentes marques de semoule mises sur le marché de la commune de Tébessa. Mémoire de Master, *Univ Larbi Tébessi –Tébessa*.
- Michel B. E. & Kaufmann M. R. (1973).** The osmotic potential of polyethylene glycol 6000. *Plant Physiology* 51, 914-916.
- Mofakkir H. (2016).** Contrôle de qualité du blé et de la farine. Mémoire de Licence, *Univ Sidi Mohamed Ben Abdallah*, 34p.
- Moud A. M. & Maghsoudi K. (2008).** Application of coleoptile growth response method to differentiate osmoregulation capability of wheat (*Triticum aestivum* L.) cultivars. *Research Journal of Agronomy* 2(2), 36-43.
- Munns R. (2002).** Comparative physiology of salt and water stress. *Plant Cell and Environment* 25, 239-250.
- Munns R. Richard A. J. & Lauchli A. (2006).** Approaches to increasing the salt tolerance of wheat and other cereals. *Journal of Experimental Botany* 57 (5), 1025-1043.
- Neffar F. (2013).** Analyse de l'expression des gènes impliqués dans la réponse au stress abiotique dans différents génotypes de blé dur (*Triticum durum*) et d'orge (*Hordeum vulgare*) soumis à la sécheresse. Thèse de Doctorat en sciences, *Univ Ferhat Abbas Sétif*, 86 p.
- Nesbitt M & Samuel D. (1995).** Promoting the conservation and use of underutilized and neglected crops. *In: First International Workshop On Hulled Wheats*, Castelvecchio Pascoli, Tuscany, Italy, pp :234-245
- Nouar H., Bouzerzour H., Haddad L., Menad M., Hazmoune H. & Zerargui H. (2012).** Genotype x Environment Interaction Assessment in Durum Wheat (*Triticum durum* Desf) using AMMI and GGE Models. *Advances in Environmental Biology* 6, 3007-3015.
- Osborne T. B. (1924).** The vegetables proteins 2nd edition. Longmans, *Green & Co edition London, England*, 154p.
- Otteson B. N., Mergoum M. & Ransom J. K. (2008).** Seeding rate and nitrogen management on milling and baking quality of hard red spring wheat genotypes. *Crop Science* 48(2), 749-755.
- Ottow E., Brinker M., Fritz E., Teichmann T., Kaiser W., Brosche M., Kangasjarvi J., Jiang X. & Polle A. (2005).** *Populus euphratica* Displays Apoplasmic Sodium Accumulation, Osmotic Adjustment by Decreases

in Calcium and Soluble Carbohydrates, and Develops Leaf Succulence under Salt Stress 1. *Plant Physiology* 139, 1762–1772

Oulmi A., Fellahi Z., Mebarki H. & Benmahammed A. (2019). Evaluation des pertes d'eau et de la teneur relative en eau des feuilles excisées comme critères de sélection pour la tolérance du blé dur (*Triticum durum* Desf.) au déficit hydrique. *Revue Agriculture* (Soumis).

Oulmi A., Semecheddine N., Fellahi Z., Salmi M., Laala Z., Rabti A. & Benmahammed A. (2016). Variabilité génétique, héritabilité et corrélations entre les caractères phéno-morpho-physiologiques et agronomiques des populations F2 de blé dur (*Triticum durum* Desf.) *International Journal of Innovation and Applied Studies* 17(4), 2028-9324.

Oury F. X., Bérard P., Brancourt-Hulmel M., Depatureaux C., Doussinault G., GalicN., Giraud A., Heumez E., Lecomte C., Pluchard P., Rolland B., Rousset M. & Trottet M. (2003). Yield and grain protein concentration in bread wheat: a review and a study of multi-annual data from a French breeding program. *Journal of Genetics and Breeding* 57, 59-68

Parry M.A.J., Flexas J. & Medrano H. (2005). Prospects for crop production under drought: research priorities and future directions. *Annals of Applied Biology* 147, 211-226.

Passioura J. (2006). Increasing crop productivity when water is scarce from breeding to field management. *Agricultural water management* 80(1), 176-196.

Paux E., Sourdille P., Salse J., Saintenac C., Choulet F., Leroy P., Korol A., Michalak M., Kianian S. & Spielmeier W. (2008). A physical map of the 1 -gigabase bread wheat chromosome 3B. *Science* 322(5898), 101-104.

Pfeiffer W.H., Sayre K.D. & Reynolds M. P. (2000). Enhancing Genetic Grain Yield Potential And Yield Stability In Durum Wheat. *Options Méditerranéennes* 40, 83-93.

Pomeranz Y. (1988). Chemical composition of kernel structures. Wheat: *chemistry and technology* I, 97-158.

Poorter H. (1989). Interspecific variation in relative growth rate: on ecological causes and physiological consequences. *Causes and consequences of variation in growth rate and productivity of higher plants* 24, 45-68.

Popineau Y. (1985). Propriétés biochimiques et physico-chimiques des protéines de céréales. In Protéines végétales (B. GODON) TEC.Doc. Lavoisier Apria, 629p.

Prakash V., Tiwari S., Shukla R. S., Tripathi N. & Sapre S. (2015). Evaluation of Drought Stress Tolerance Efficiency of Wheat (*Triticum aestivum* L.) Genotypes at Germination and Seedling Stages. *International Journal of Bio-Resource & Stress Management* 6(5), 602-609.

Preston K. R., Kilborn R. H., Morgan B. C. & Babb J. C. (1991). Effects of Frost and Immaturity on the Quality of a Canadian Hard Red Spring Wheat. *Cereal Chemistry*, 68(2), 133-138

Reynolds M. & Langridge P. (2016). Physiological breeding. *Current Opinion in Plant Biology* 31, 162-171.

Reynolds M., Manes Y., Izanloo A. & Langridge P. (2012). Phenotyping approaches for physiological breeding and gene discovery in wheat. *Annals of Applied Biology* 155, 309-320.

Reynolds M.P., A. Pellegrineschi B. Skovmand. (2005). Sink-limitation to yield and biomass: a summary of some investigations in spring wheat. *Annals of Applied Biology* 146(1), 39-49.

Rharrabti Y., Villegas D., Garcia Del Moral L. F., Aparicio N., El Hani S. & Royo C. (2001). Environmental and genetic determination of protein content and grain yield in durum wheat under Mediterranean conditions. *Plant Breeding* 120, 381-388.

Ribot G.G., Paola S. & Edmundo A. (2012). Morphological and Physiological Traits of Assistance in the Selection of High Yielding Varieties of Durum Wheat (*Triticum turgidum* L. spp. *durum*) for the Rainfed Mediterranean Environments of Central Chile. *American Journal of Plant Sciences* 3, 1809-1819.

- Saini H. S. & Aspinall D. (1982).** Abnormal sporogenesis in wheat (*Triticum aestivum* L.) induced by short periods of high temperature. *Annals of botany* 49(6), 835-846.
- Salmi M., Benmahammed A., Benderradji L., Fellahi Z., Bouzerzour H., Oulmi A. & Benbelkacem A. (2019).** Generation means analysis of some metric traits in durum wheat (*Triticum durum* Desf.) cross. *Revista Facultad Nacional de Agronomía* (Soumis).
- Salmi M., Haddad L., Oulmi A., Benmahammed A. & Benbelkacem A. (2015).** Variabilité phénotypique et sélection des caractères agronomiques du blé dur (*Triticum durum* Desf.) Sous conditions semi-arides. *European Scientific Journal* 11, 99-111.
- Saraoui T. (2011).** Étude de la variabilité morphologique de populations F2 de blé dur (*Triticum durum* Desf.): utilisation d'un indice de sélection. Mémoire de Magister, *Univ Hadj Lakhdar –Batna*, 75 p.
- Sassi K., Abid G., Jemni L., Dridi-Al Mohandes B. & Boubaker M. (2012).** Étude comparative de six variétés de blé dur (*Triticum durum* Desf.) vis-à-vis du stress hydrique. *Journal of Animal & Plant Sciences* 15, 2157-2170.
- Semcheddine N. (2015).** Evaluation de la tolérance à la sécheresse chez le blé dur (*Triticum durum* Desf.) par l'étude du bilan hydrique et des paramètres phéno-morpho-physiologiques. Thèse de doctorat en sciences, *Univ Ferhat Abbas Sétif* 103p.
- Shantha N., Tripathi S., Singh G. P. & Chaudhary H. B. (2007).** Effect of genotype and environment on quality traits and grain yield of wheat. *Indian Journal of Genetics and Plant Breeding* 67(2), 149-152.
- Shewry P. R., Napier J. A. & Tatham A. S. (1995).** Seed storage proteins: Structure and Biosynthesis. *Plant Cell* 7, 945-956.
- Shewry P. R., Tatham A. S., Forde J., Kreis M. & Mifflin B. J. (1986).** The classification and nomenclature of wheat gluten proteins: a reassessment. *Journal of Cereal Science* 4, 97-106.
- Slafer G. A., Araus J. L., Royo C. & Del Moral L. G. (2005).** Promising ecophysiological traits for genetic improvement of cereal yields in Mediterranean environments. *Journal of Applied Biology* 146, 61-79.
- Slama A., Ben Salem M., Ben Naceur M. & Zid E. (2005).** Les céréales en Tunisie : production, effet de la sécheresse et mécanismes de résistance. *Inrat* 16 (3), 225-229.
- Soltner D. (2005).** Les grandes productions végétales. *Collection science et techniques agricoles*, 472p.
- Souza E. J., Martin J. M., Guttieri M. J., O'Brien K. M., Habernicht D. K., Lanning S. P., McLean R., Carlson G. R. & Talbert L. E. (2004).** Influence of genotype, environment, and nitrogen management on spring wheat quality. *Crop Science* 44(2), 425-432.
- Surget A. & Barron C. (2005).** Histologie du grain de blé. *Industrie des céréales*, n.145.
- Tahri E., Belabed A. & Sadki K. (1997).** Effet d'un stress osmotique sur l'accumulation de proline, de chlorophylle et des ARNm codant pour la glutamine synthétase chez trois variétés de blé dur (*Triticum durum* Desf.). *Bulletin de l'Institut Scientifique* 21, 81-89
- Temagout M. (2009).** Analyse de la variabilité de la réponse au stress hydrique chez des lignées recombinantes de Tournesol (*Helianthus annuus* L.). Mémoire de Magistère, *Univ Mentouri, Constantine*, 106p.
- Triboi E., Abad A., Michelena A., Lloveras J., Ollier J. L. & Daniel C. (2000).** Environmental effects on the quality of two wheat genotypes: 1. quantitative and qualitative variation of storage proteins. *European Journal of Agronomy* 13(1), 47-64.
- Tuberosa R. & Salvi S. (2006).** Genomics-based approaches to improve drought tolerance of crops. *Trends in plant Science* 11(8), 405-412.
- Turner N.C. (1986).** Adaptation to water deficit: a changing perspective. *Australian Journal of Plant Physiology* 13, 175- 90

- Tyree M. T. & Jarvis P. G. (1982).** Water in tissues and cells. *Encyclopedia of plant physiology. New Series* 12, 36-77
- Van hasselt P. R. & Van Berlo H. (1980).** Photo-oxidative Damage to the Photo-synthesis Apparatus During Chilling. *Physiologia Plantarum* 50(1), 52-56.
- Vartanian, N. (1973).** Particularités adaptatives de la Moutarde blanche, *Sinapis alba* L., à la sécheresse. In: Plant Response to Climatic Factors Proceedings of the uppsala Symposium.
- Vasquez-Tello A., Zuily-Fodil Y., Pham Thi A. T. & Vieira Da Silva J. B. (1990).** Electrolyte and Pi leakages and soluble sugar content as physiological tests for screening resistance to water stress in *Phaseolus* and *Vigna* species. *Journal of Experimental Botany* 41, 32827.
- Wang W., Vinocur B. & Altman A. (2003).** Plant responses to drought, salinity and extreme temperatures: towards genetic engineering for stress tolerance. *Planta* 218(1), 1-14.
- Xiaojie C., Donghong M., Tauqeer A. Y. & Yin-Gang H. (2012).** Evaluation of 14 morphological, yield-related and physiological traits as indicators of drought tolerance in Chinese winter bread wheat revealed by analysis of the membership function value of drought tolerance (MFVD). *Field Crops Research* 137, 195-201.
- Yagdi K. & Sozen E. (2009).** Heritability, variance components and correlations of yield and quality traits in durum wheat (*Triticum durum* Desf.). *Pakistan Journal of Botany* 41(2), 753-759.
- Zaghdoudi H. & Bensaadi H. (2018).** Etude du stress salin sur les paramètres de croissance de quelques variétés de blé tendre (*Triticum aestivum* L.). Mémoire de Master, Univ Mohamed El Bachir El Ibrahimi, BBA, 44p.
- Zanetti S., Winzeler M., Feuillet C., Keller B. & Messmer M. (2001).** Genetic analysis of bread-making quality in wheat and spelt. *Plant Breeding*, 120(1), 13-19.
- Zemour K. (2014).** Etude des effets du déficit hydrique sur le processus de germination chez le blé dur (*Triticum durum* Desf.). *Mémoire De Magistère, Univ Abou Bekr Belkaïd –Tlemcen*, 59p.
- Zhang Y., Zhang Y., He Z. H. & Ye G. Y. (2005).** Milling quality and protein properties of autumn- sown Chinese wheats evaluated through multi-location trials. *Euphytica* 143(1-2), 209-222.
- Zhu J. K. (2001).** Plant salt tolerance. *Trends in Plant Sciences* 6, 66-71.
- Zouaoui G. (1993).** Etude en F1 et F2 des hybrides issus du croisement de 05 variétés de blé dur : détermination génétique des principaux caractères à intérêt agronomique. Mémoire Ing. *D'Etat. I.N.R.A El Harrach. Alger*.

ANNEXES

Annexe 1 : Types de farine et taux de cendre (Feillet, 2000).

Dénomination	Taux de cendres	Description
Type 45	<0.5%	Farine très blanche
Type 55	de 0.50 à 0.60%	Farine blanche
Type 65	de 0.62 à 0.75%	Farine crème
Type 80	de 0.75 à 0.90%	Farine bise ou semi complète
Type 110	de 1 à 1.20%	Farine complète
Type 150	>1.40%	Farine intégrale