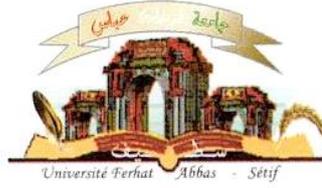


الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية  
وزارة التعليم العالي و البحث العلمي

Université Ferhat Abbas Sétif 1  
Faculté des Sciences de la  
Nature et de la Vie



جامعة فرحات عباس، سطيف 1  
كلية علوم الطبيعة و الحياة

DEPARTEMENT DES SCIENCES AGRONOMIQUES

N° ...../SNV/2015

## MÉMOIRE

Présenté par

**EL HADEF EL OKKI LYDIA**

Pour l'obtention du diplôme de

**MAGISTER EN AGRONOMIE**

**Spécialité : Génétique et Amélioration des Plantes**

## THÈME

**Valeurs d'appréciation de la qualité technologique et biochimique  
des nouvelles obtentions variétales de blé dur en Algérie**

Soutenue publiquement le : **30/12/2015**

### DEVANT LE JURY

Président

**Bouzerzour Hamenna**

**Pr UFA Sétif 1**

Directeur

**Benbelkacem Abdelkader**

**M.R (A) INRA Constantine**

Examineurs

**Benmahammed Amar**

**Pr UFA Sétif 1**

**Makhlouf Abdelhamid**

**M.C (A) UFA Sétif 1**

## ملخص:

أجريت هذه الدراسة على مستوى المحطة التجريبية الفلاحية بالخروب التابعة للمعهد التقني للمحاصيل الكبرى (م ت م ك) خلال الموسمين الزراعيين (2013/2012 و 2014/2013) .  
(*Triticum durum* Desf.) وضع عشرون نمطا وراثيا من القمح الصلب  
يشمل اصناف مدخلة و سلالات متقدمة  
أولا: لدراسة إنتاجية كل نمط وراثي و مقارنتهم خلال كل موسم زراعي من جهة ثم خلال الموسمين من جهة ثانية.  
ثانيا : تقييم النوعيات التكنولوجية المتمثلة في الوزن النوعي , نسبة كل من البروتينات , الرطوبة , النشا , الغلوتين الرطب و الجاف و مؤشر الغلوتين.  
ثالثا : تصنيف جميع الأنماط الوراثية على أساس العوامل المدروسة سمح بتميز مجموعتين مختلفتين خاصة بالنسبة الى عوامل النوعية التكنولوجية.  
الكلمات الدالة : قمح صلب , أصناف محلية , سلالات متقدمة , نوعية تكنولوجية , تثمين.

**Resumé :**

La présente étude a été conduite au niveau de la Station Expérimentale Agricole de l'Institut Technique des Grandes Cultures (ITGC) d'El Khroub au cours des campagnes agricoles 2012/2013 et 2013/2014. Vingt génotypes de blé dur (*Triticum durum* Desf.) constitués de variétés introduites et de lignées avancés ont été mis en expérimentation afin d'étudier en premier lieu la productivité de chaque génotype et de les comparer durant chaque campagne d'une part et durant les deux campagnes d'autres part. En deuxième lieu l'appréciation des qualités technologiques à savoir le poids spécifique, le taux de mitadinage, de protéines, d'humidité, d'amidon, de gluten humide et sec et du gluten index. Et enfin une classification des génotypes sur la base de l'ensemble de tous les paramètres étudiés a permis de distinguer deux grands groupes divergents surtout pour les caractères de qualité technologique.

**Mots clés :** blé dur (*Triticum durum* Desf.), variétés introduites, lignées avancés, qualité technologique, valorisation.

**Abstract:**

This study was conducted at the Agricultural Research Station of the Field Crop Institute (ARS-ITGC) of El Khroub during the 2012/2013 and 2013/2014 cropping seasons. Twenty durum wheat (*Triticum durum* Desf.) genotypes including improved varieties and advanced lines have been studied firstly to compare their performances in one year and two successive seasons. Secondly, to assess some end-use quality traits such as the specific weight, yellow berry rate, protein content, moisture content, starch rate, wet gluten and dry gluten index. Finally, a classification of all genotypes based on the parameters studied identified two major divergent groups particularly for technological quality traits.

**Key words:** durum wheat (*Triticum durum* Desf.), improved varieties, advanced lines, quality, valorization.

## **REMERCIEMENT**

*Tout d'abord, louange à «ALLAH» qui, m'a guidé sur le droit chemin tout au long de ce travail, m'a inspiré les bons pas et les justes réflexes et m'a donné la volonté et le Courage. Sans sa miséricorde, ce travail n'aurait pas abouti. "El Hamd Wa Chokr Li ALLAH"*

*J'exprime ma reconnaissance aux membres du jury qui ont accepté de juger ce travail.*

*Je remercie vivement Mr BENBELKACEM Abdelkader, Maître de recherche A à l'INRAA de Constantine pour avoir accepté de m'encadrer et m'avoir accordé sa confiance tout au long de ce travail.*

*Je tiens à exprimer ma profonde reconnaissance à Mr BOUZERZOUR Hamenna, professeur à l'université de Sétif de m'avoir fait l'honneur d'accepter de présider ce jury.*

*J'exprime ma gratitude à Mr BENMAHAMMED Amar, professeur à l'université de Sétif, de m'avoir honoré en acceptant de faire partie de ce jury. Veuillez trouver ici mes remerciements les plus sincères pour vos conseils et encouragements.*

*J'exprime ma gratitude à Mr MAKHLOUF Abdelhamid maître de conférences A à l'université de Sétif de m'avoir honoré en acceptant d'examiner ce travail.*

*Je remercie Mr SAKHRI le directeur de l'institut Technique des Grandes Cultures d'Elkhroub de m'avoir permis d'installer mon essai au sein de cette institution expérimentale ainsi que toute l'équipe qui y travaille ingénieurs et ouvriers pour leur aide précieuse et instantanée je cite particulièrement Mr ABDESSALAM.*

*Mes vives remerciements et reconnaissances sont adressés à Mme SADLI F responsable du réseau qualité blé du Groupe Benamor, Mme Kalarasse ASSIA, Mr Kalarasse RAOUF et à Tout le personnel du laboratoire de contrôle de qualité des moulins Amor Benamor Elfedjoudj-Guelma, je cite en particulier LOUBNA et KACEM.*

*Je suis reconnaissante à toute personne qui de près ou de loin m'a aidé afin de mener à terme ce travail en particulier Mr Semcheddine Nadjim, Mr Brahim Fallahi, Mr Zin elabididine Fellahi et Mr Abderahmen Hannachi.*

*Des remerciements les plus particuliers et les plus infinis à mes parents NORDESS et ABDEL-ILAH, pour tout ce qu'ils ont fait pour moi.*

*Je voudrai remercier aussi tous mes proches et amis, qui m'ont toujours soutenu et encouragé au cours de la réalisation de ce mémoire.*

*Des remerciements du plus fond du cœur à mes amies, Sabrina, Immen, Nesrine, khaoula et Amira pour leur aide et soutien moral sans oublier Abdi Yamina et Ferras Kenza.*

*Doivent être également remerciées, avec une même intensité, toutes les personnes ayant participées de près ou de loin à la réalisation de ce mémoire.*

## ***Dédicace :***

*Je dédie ce travail en premier lieu,*

*A ma mère Nordess et mon père Abdel-Illah qui me sont très chers en témoignage à leur soutien pendant toute ma vie car aucun mot ne pourra exprimer ma haute gratitude et profonde affection.*

*A mes grands parents, et à mon frère Charaf,*

*A toute ma famille,*

*A tous mes amis,*

*A mon oncle Riad ” Allah yachfih”*

*Et à toutes les personnes qui ont contribué à la réalisation de ce travail.*

## **LISTE DES ABREVIATIONS**

- ACP** : Analyse des composantes principales
- AFNOR** : Association française de normalisation
- ANOVA** : Analyse of variance
- CIC** : Conseil international des céréales
- CIMMYT** : Centre international d'amélioration du maïs et du blé
- CM** : Carré moyen
- CV** : Coefficient de variation
- Ddl** : Degré de liberté
- FAO**: Food and Agriculture Organization
- GIEC** : Groupe d'experts Intergouvernemental sur l'évolution du climat
- Ha**: Hectare
- Hum, H**: Humidité
- ICARDA**: International Center for Agriculture Research in the Dry Areas
- INRA** : Institut National de la Recherche Agronomique
- ITCF** : Institut Technologique des Céréales et des Fourrages
- ITGC** : Institut Technique des Grandes Cultures.
- M<sup>2</sup>** : Mètre carré
- MADR** : Ministère de l'agriculture et du développement rural
- MITA** : Mitadinage
- MMm** : Millimètre
- ms** : Matière sèche
- MSDA** : Manuel suisse des denrées alimentaires
- Mt** : Million tonne
- NIRS** : Near infrared spectroscopy
- NUE** : Nitrogen Use Efficiency
- O.N.M** : Office nationale de la météorologie
- ONIC** : Office national interprofessionnel des céréales
- PMG** : Poids de milles grains
- PPDS** : Plus petite différence significative
- PROT** : Protéine
- PS** : Poids spécifique
- Qx** : Quintaux

**RDT** : Rendement

**S. V.**: Source de variation

**SAU** : Surface agricole utile

**T** : Température

**UE** : Union européen

## LISTE DES TABLEAUX

<b>Tableau I.1 :</b> Les dix grands premiers producteurs du blé dans le monde ( $10^6$ t/an) (Fao, 2006).....	5
<b>Tableau I.2 :</b> Superficies emblavées et récoltées pour le blé dur et le blé tendre .U : Ha.....	7
<b>Tableau I.3 :</b> Demande nationale en blés.....	11
<b>Tableau II.1.</b> Principales caractéristiques des essais durant les deux campagnes.....	25
<b>Tableau II.2.</b> Les géotypes de blé dur utilisés dans l'expérience.....	26
<b>Tableau III.a :</b> Conditions climatiques de la campagne 2012/2013 à Elkhroub.....	34
<b>Tableau III.b :</b> conditions climatiques de la campagne 2013/2014 à Elkhroub.....	36
<b>Tableau III.1</b> Carrés moyens de l'analyse de la variance du rendement et ses composantes.....	37
<b>Tableau III.4 :</b> les valeurs moyennes (des deux Années d'études) de tous les paramètres mesuré pour les 20 géotypes.....	39
<b>Tableau III.2</b> Carrés moyens de l'analyse de la variance des paramètres physico-chimiques.....	43
<b>Tableau III.3</b> Carrés moyens de l'analyse de la variance du taux de gluten humide et sec et du gluten index.....	47
<b>Tableau III.5</b> Matrice de corrélation.....	52
<b>Tableau III.6:</b> Valeurs moyennes de l'ensemble des paramètres étudiés pour les deux groupes obtenus par le clustering (1ere année).....	54
<b>Tableau III.7:</b> Valeurs moyennes de l'ensemble des paramètres étudiés pour les quatre groupes obtenus par le clustering (2eme Année).....	57
<b>Tableau III.8:</b> Valeurs moyennes de l'ensemble des paramètres étudiés pour les deux groupes obtenus par le clustering (2012-2014).....	59

## LISTE DES FIGURES

<b>Figure I.1</b> : Evolution la production mondiale des principales céréales (Fao, 2012) .....	6
<b>Figure I.2</b> .Production des céréales en Algérie au cours de la période 2000-2010 (Madr).....	7
<b>Figure I.3</b> : Localisation des zones céréalières en Algérie.....	8
<b>Figure I.4</b> : Evolution du rendement de blé en Algérie de 1995 à 2004.....	9
<b>Figure I.5</b> : Consommation de blé par tête dans quelques pays (1961/2003).....	10
<b>Figure I.6</b> : Evolution des quantités importées des blés (tendre et dur) (En Millions de Tonnes).....	12
<b>Figure I.7</b> : Evolution des quantités importées des blés (tendre et dur) en Millions de dollars US.....	12
<b>Figure I.7</b> : Évolution du rendement en grains et de la teneur en protéines des blés récoltés en France de 1986 à 2008. ....	16
<b>Figure III.a</b> : Diagramme Ombrothermique de la campagne 2012-2013.....	35
<b>Figure III.b</b> : Diagramme Ombrothermique de la campagne 2013-2014.....	36
<b>Figure III.1</b> : Variabilité moyenne du rendement en grain des différents génotypes testés.	38
<b>Figure III.2</b> : Variabilité des moyennes du nombre d'épi/m <sup>2</sup> des variétés étudiées.....	40
<b>Figure III.3</b> : Variabilité des moyennes du nombre de grains par épi.....	41
<b>Figure III.4</b> : Variabilité des moyennes du poids de mille grains .....	41
<b>Figure III.5</b> : Variabilité des valeurs du poids de mille grains des deux années d'étude 2012/2013 et 2013/2014.....	42
<b>Figure III.6</b> : Variabilité du poids spécifique des deux années d'étude 2012/2013 et 2013/2014.....	44
<b>Figure III.7</b> La variabilité du taux de mitadinage des deux années d'étude 2012/2013 et 2013/2014.....	45
<b>Figure III.8</b> : La variabilité des valeurs de l'humidité des grains des deux années d'étude 2012/2013 et 2013/2014.....	46
<b>Figure III.9</b> : La variabilité du taux de protéines des grains des deux années d'étude 2012/2013 et 2013/2014.....	47
<b>Figure III.10</b> : La variabilité des valeurs du gluten humide des deux années d'étude 2012/2013 et 2013/2014.....	48
<b>Figure III.11</b> La variabilité des valeurs du gluten sec des deux années d'étude 2012/2013 et 2013/2014.....	49

---

<b>Figure III.12</b> : La variabilité des valeurs du gluten index des deux années d'étude 2012/2013 et 2013/2014.....	50
<b>Figure III.13</b> : Corrélation entre le taux des protéines grains et le taux de gluten humide....	51
<b>Figure III.14</b> : Corrélation entre le taux des protéines grains et le taux de mitadinage.....	51
<b>Figure III.15</b> : Groupage (clustering) des différentes variétés étudiées sur la base de l'ensemble des variables mesurées au cours de la campagne 2012/2013.....	53
<b>Figure III.16</b> : Caractéristiques des deux groupes de géotypes identifiés sur la base des variables mesurées au cours de la première année d'essai (2012/2013).....	55
<b>Figure III.17</b> Groupage (clustering) des différentes variétés étudiées sur la base de l'ensemble des variables mesurées au cours de la campagne 2013/2014.....	55
<b>Figure III.18</b> Caractéristiques des différents groupes de géotypes identifiés sur la base des variables mesurées au cours de la deuxième année d'essai (2013/2014).....	56
<b>Figure III.19</b> : Groupage (Clustering) des différentes variétés étudiées sur la base de l'ensemble des variables mesurées au cours des deux campagnes (2012-2014).....	57
<b>Figure III.20</b> : Caractéristiques des deux groupes de géotypes identifiés sur la base des variables mesurées au cours des deux années d'essai (2012-2014).....	58
<b>Figure III.21</b> : Représentation des variables mesurées et des individus sur le plan formé par les axes 1 et 2 de l'analyse en composantes principales des données de la première année (2012/13).....	60
<b>Figure III.22</b> : Représentation des variables mesurées et des individus sur le plan formé par les axes 1 et 2 de l'analyse en composantes principales des données de la deuxième année (2013/114).....	61

# SOMMAIRE

<b>INTRODUCTION</b>	<b>1</b>
<b>CHAPITRE I. REVUE BIBLIOGRAPHIQUE</b>	
<b>I GENERALITEES SUR LE BLE ET SA CULTURE</b>	
<b>1.1 : Origine et histoire de blé :</b>	<b>3</b>
<b>1.2 Le climat et la sélection</b>	<b>4</b>
<b>2. Production Et Importance Du Blé</b>	<b>5</b>
<b>2.1 Le blé dans le contexte international</b>	<b>5</b>
<b>2.2 Le blé dans le contexte national</b>	<b>6</b>
<b>A/ Evolution de la culture céréalière au niveau national</b>	<b>7</b>
<b>B/ Les Rendements au niveau national</b>	<b>8</b>
<b>2.3 Place du blé dans la consommation alimentaire des ménages</b>	<b>9</b>
<b>3. Importation Des Blés En Algérie</b>	<b>11</b>
<b>II LA RELATION RENDEMENT EN GRAIN /TENEUR EN PROTEINES</b>	
<b>1. Rendement en grains et teneur en Protéines</b>	<b>14</b>
<b>2. Intérêts portés au rendement en grains et à la teneur en protéines des blés</b>	<b>14</b>
<b>3. La relation négative teneur en protéines - rendement en grains chez le blé</b>	<b>15</b>
<b>4. Déterminisme de la relation négative teneur en protéines - rendement en grains</b>	<b>16</b>
<b>4.1 Compétition pour l'énergie</b>	<b>17</b>
<b>4.2 Variabilité génétique pour la durée de sénescence des feuilles après floraison</b>	<b>17</b>
<b>4.3 Incompatibilité génétique</b>	<b>18</b>
<b>5. Les perspectives d'amélioration du rendement en grains et de la teneur en protéines.</b>	<b>18</b>
<b>III. LES CRITERES D APPRECIATION DE LA QUALITE DU GRAIN DU BLE DUR</b>	
<b>1. Le taux de mitadinage</b>	<b>20</b>
<b>2. Poids de Mille Grains (PMG)</b>	<b>21</b>
<b>3. Le Poids Spécifique (PS)</b>	<b>21</b>
<b>4. Teneur en eau</b>	<b>21</b>
<b>5. Les composants du grain en relation avec la qualité</b>	<b>21</b>
<b>5.1 Les protéines</b>	<b>22</b>

5.2 Le gluten	23
5.3 La teneur en amidon	23
<b>CHAPITRE II. MATERIEL ET METHODES</b>	
1. Expérimentation 1.	24
1.1 Présentation de la région d'étude	24
1.2 Caractérisation climatique de la région d'étude	24
1.3. Caractéristiques pédologiques du sol	24
1.4. Mise en place de l'essai	24
1.5. Matériel végétale	25
1.6. Les Mesures Réalisées	26
1.6.1 Le nombre d'épis au m <sup>2</sup> (NE/M <sup>2</sup> )	26
1.6.2 Le nombre de grains par épi (NG/E)	26
1.6.3 Le poids de mille grains (PMG)	26
1.6.4 Le rendement en grains (RDT)	27
2 Expérimentation 2	27
2.1 Présentation du site d'étude	27
2.1.1 Les moulin Amor Benamor	27
2.2 Critères de qualités et méthodes d'appréciation	28
A) les paramètres relatifs aux caractéristiques physiques des grains	28
B) les paramètres relatifs aux caractéristiques biochimiques des grains	28
B.1. Analyse dans le proche infra rouge (NIRS)	28
C) les paramètres relatifs aux caractéristiques de la semoule de blé dur	28
2.3. Les analyses technologiques	28
2.3.1. Mesure de la masse volumique ou Le poids spécifique (PS)	28
2.3.2. Poids de mille grains(PMG)	29
2.3. 3. Détermination du taux de mitadinage	29
2.3.4 Teneur de protéines	30
2.3.5 Teneur en Amidon	31
2.3.6. Teneur en humidité	31
2.3.7. Teneur en gluten humide, sec et la valeur du gluten index	31
a/ le gluten humide	32
b/ le gluten index	32
c/ le gluten sec	33

---

<b>3.1 Analyses des données</b>	<b>33</b>
<b>3.2 Analyse de la variance</b>	<b>33</b>
<b>3.3 Analyse des corrélations</b>	<b>33</b>
<b>3.4 Analyse hiérarchique</b>	<b>33</b>
<b>3.3 Analyse en composantes principales (ACP)</b>	<b>33</b>
<b>CHAPITRE III : RESULTATS ET DISCUSSION</b>	
<b>I. Conditions climatiques</b>	<b>34</b>
<b>A/ La première année d'étude 2012/2013</b>	<b>34</b>
<b>B/ La deuxième année d'étude 2013/2014</b>	<b>35</b>
<b>II. Evaluation du comportement variétal des 20 géotypes de blé dur au cours des deux années d'essai1.</b>	<b>37</b>
<b>1. Les paramètres agronomiques : le rendement et les composantes du rendement</b>	<b>37</b>
<b>1.1 Le rendement grain (RDT)</b>	<b>37</b>
<b>1.2 Le nombres d'épi mètre carré (NE/M<sup>2</sup>)</b>	<b>38</b>
<b>1.3 Le nombres de grains par épi (NG/E)</b>	<b>40</b>
<b>1.4 Le poids de 1000 grains</b>	<b>41</b>
<b>2 Les Paramètres mesurés au laboratoire</b>	<b>43</b>
<b>2.1 Analyses physico-chimiques du grain</b>	<b>43</b>
<b>A) le poids spécifique (PS)</b>	<b>43</b>
<b>B) le taux de mitadinage</b>	<b>44</b>
<b>C) Humidité des grains</b>	<b>45</b>
<b>D) Taux de Protéines des grains</b>	<b>46</b>
<b>2.2 Analyse de qualité technologique</b>	<b>47</b>
<b>A) Taux de gluten (sec et humide)</b>	<b>47</b>
<b>B) gluten index</b>	<b>50</b>
<b>III Matrice de corrélation</b>	<b>50</b>
<b>1. Analyse des liaisons inter- caractères de la première année d'étude</b>	<b>50</b>
<b>IV. Typologie variétale</b>	<b>53</b>
<b>1. Typologie variétale de la première année (Année 2012/2013)</b>	<b>53</b>
<b>2. Typologie variétale (Année 2013/2014)</b>	<b>54</b>
<b>3. Typologie variétale combinée des deux années d'essai (2012 – 2014)</b>	<b>57</b>
<b>V. L'analyse en composantes principales</b>	<b>59</b>

<b>Conclusion et perspectives</b>	<b>63</b>
<b>Références Bibliographiques</b>	<b>65</b>

# Introduction

## **Introduction**

Les céréales occupent à l'échelle mondiale une place primordiale dans le système agricole. Les céréales sont considérées comme une principale source de la nutrition humaine et animale (Slama *et al.*, 2005), selon (FAO, 2007) leur production arrive jusqu'à 2 Milliards de tonnes.

Le blé dur constitue un élément essentiel dans la structure de la consommation des céréales. Il contribue énormément aux apports caloriques et protéiques de la population dans l'ensemble du pays. Si la production du blé dur s'est conventionnellement associée à la fabrication de la semoule et les pâtes alimentaires au niveau industriel, en milieu rural l'utilisation du blé dur dans la panification est une pratique courante. Environ 85 pourcent de la production annuelle du blé dur est utilisée en panification (Boujnah *et al.*, 2004). Pour les populations rurales, le pain à base de blé dur (pain et galette) est un composant fondamental du régime quotidien.

A cet égard, l'Algérie importe actuellement environ 5.5 millions de tonnes de blé (dur et tendre) pour répondre à la demande, qui représentent 60% des besoins nationaux et environ 40% de la demande de produits de blé dur est importée sous forme de semoule (Kellou R, 2008).

Le problème auquel est confrontée l'Algérie réside notamment dans le fait que le niveau de production céréalière nationale est loin de répondre aux besoins de consommation ce qui fait de l'Algérie un important importateur des produits du blé dur.

Dans notre pays, une grande partie de la production céréalière est soumise aux pratiques de l'agriculture traditionnelles, incapable de faire face aux irrégularités du climat, d'où des variations considérables dans les rendements d'une année à l'autre.

De plus, les populations locales de blé ont été délaissées par les organismes spécialisés et les agriculteurs au profit de variétés introduites massivement, avec une régression significative de la grande diversité qui prévalait antérieurement.

Ainsi le problème posé ces dernières années est l'apparition de variétés de blé dur (*Triticum durum* Desf.) caractérisées par une forte productivité mais aussi par une mauvaise aptitude à la transformation industrielle. Aussi, la notion de qualité du grain

chez le blé n'est pas encore prise en considération par les pouvoirs publics dans la formation des produits locaux. Le prix d'achat d'un quintal du produit est le même quelque soit leur teneur en protéines, alors que cette teneur est un critère qui fixe le prix du blé dur sur le marché international (Hamadache, 2011).

Cette situation oriente d'une part les agriculteurs vers la production en quantité et par conséquent d'avoir des produits de mauvaise qualité, et oblige d'autre part les industries de première transformation à importer du blé dur avec des normes déterminées pour avoir des semoules et des produits de qualité.

Durant ces dernières années, la question de la qualité prend de plus en plus d'importance au niveau des recherches, tout particulièrement dans les programmes d'amélioration génétique, L'amélioration du rendement et de la qualité du blé dur passe donc par la création variétale et le choix de critères fiables pour l'identification de mécanismes d'adaptations aux contraintes environnementales. Parmi ces critères, la stabilité du rendement, la tolérance aux stress abiotiques, la résistance aux maladies en plus d'une bonne qualité technologique.

C'est cette dernière notion, qui retient plus particulièrement l'intérêt de la présente étude. Parmi les différents facteurs responsables de la qualité, l'influence prépondérante des protéines, et particulièrement celles qui constituent le gluten. Précisément, au niveau de cette fraction, il est possible de distinguer une notion quantitative (teneur en gluten), davantage liée aux facteurs agro climatiques, et une notion qualitative dépendante du patrimoine génétique.

En dépit des taux de protéinées qui influent sur la qualité culinaire, d'autre trait de la qualité à savoir les caractéristiques physiques du grain de blé tel le mitadinage le poids spécifique et le poids de milles grain influe sur le rendement et sur la qualité semoulière.

C'est dans ce contexte, que le présent travail vise à étudier la variabilité des rendements en grain et quelques traits de la qualité technologique de 20 géotypes de blé dur (*Triticum durum* Desf.) dont 5 variétés introduites Waha, Benimestina, GTA/Dur, Sigus et Ainlahma et 15 lignées avancées (de nouvelles sélections) issus des essais de l'ITGC d'El Khroub.

# **ETUDE BIBLIOGRAPHIQUE**

## CHAPITRE I REVUE BIBLIOGRAPHIQUE

### 1) GENERALITEES SUR LE BLE ET SA CULTURE

#### 1. 1 : Origine et histoire de blé :

La production mondiale, en progression constante, et les échanges qui se multiplient entre les régions du monde font de cette céréale l'un des principaux acteurs de l'économie mondiale. Le mot blé a longtemps désigné toute une série de céréales, dont le seigle, le sorgho, et le mil. Le mot latin, plus précis, identifie dans le genre *Triticum* les espèces céréalières auxquelles il est légitime de donner le nom de blé.

Trois groupes de *Triticum* sont connus, répartis selon le nombre de leurs chromosomes : le groupe diploïde (2x7 chromosomes) comprend *Triticum monococcum* (engrain) et *T. spontaneum*, qui font partie des formes les plus anciennement cultivées, caractérisées par des épis grêles où les grains restent enveloppés par les glumelles. Le groupe tétraploïde (4x7 chromosomes) comprend *T. dicoccoïdes* (amidonnier sauvage), *T. dicoccum* (amidonnier), *T. turgidum* et *T. durum* (blé dur), à épis denses dont les grains riches en gluten servent à fabriquer les pâtes alimentaires. Le groupe hexaploïde (6x7 chromosomes), représenté par *T. vulgare*, ou *T. aestivum* (blé tendre) et *T. spelta* (épeautre), comprend la majorité des blés à épis assez larges et aux grains riches en amidon nécessaires à la fabrication du pain. Le froment ou blé tendre (*Triticum aestivum*), est de loin l'espèce la plus cultivée de ce genre avec le blé dur (*T. durum*), qui sert à préparer la semoule pour fabriquer des pâtes alimentaires.

Le blé dur a été cultivé cent ans avant J.C et son aire géographique est l'Asie Centrale, Iran, Irak, Abyssinie, Etats-Unis, monde méditerranéen, tandis que le blé tendre dont le nom commun, froment, est cultivé dans le monde entier et ce depuis 7 000 ans avant J.C. Les autres espèces comme l'épeautre (*T. spelta*), l'engrain (*T. monococcum*), et le blé amidonnier (*T. dicoccum*) ne sont cultivées que dans certains pays d'Asie.

Le blé est une plante annuelle, autogame à la fois simple car elle suit un processus irréversible de croissance développement, et complexe car son cycle est soumis à une multitude d'inter – relations aussi importantes les unes que les autres. Quisenberry (1976), in (Benseddik et Benabdelli, 2000), a dit à son sujet le blé est pour le botaniste, une herbe, pour le biochimiste un composé organique et pour le généticien, un problème.

## 2.2 Le climat et la sélection :

### Le climat :

L'évolution du climat est marquée par des changements importants au niveau planétaire. Parmi ces changements, on note la variation de la température et de la pluviométrie. La fin du siècle passé a connu une augmentation de température de l'ordre de 0,2° C par décennie (Hansen et al, 2006). Ces changements ont été liés en grande partie aux activités humaines dont l'émission de gaz à effet de serres (Groupe d'experts Intergouvernemental sur l'évolution du climat, (GIEC 2007)). La vitesse moyenne du réchauffement de l'atmosphère, au cours des cent dernières années, est de 0,74 °C/siècle. Ces changements vont se poursuivre et les conclusions du Groupe d'experts Intergouvernemental sur l'Evolution du Climat (GIEC), exposées dans son 4ème rapport publié en 2007 ne laissent plus de doute quant au sens de cette évolution allant vers un réchauffement qui pourrait être compris entre +1,4 à +6,4°C d'ici 2100.

Par conséquent la production des cultures pluviales et particulièrement les céréales sera variable au cours des années. La culture du blé dépend essentiellement de la pluviométrie naturelle. La production du blé est cependant très fortement tributaire des variations climatiques locales et interannuelles. Au vu des prévisions et des incertitudes sur l'évolution future du climat, la compréhension des caractères biologiques complexes qui déterminent l'adaptation du blé au climat, est une perspective intéressante, qui pourrait contribuer à la gestion de l'impact du changement climatique. Plusieurs paramètres qu'ils soient physiologiques (photosynthèse, conductance stomatique, teneur en chlorophylle, potentiel hydrique, etc.), biochimiques, ou agronomiques sont utilisés comme des indicateurs pour élucider l'effet d'un stress hydrique et l'état physiologique de la plante.

### La sélection :

Bien que la sélection classique des céréales, ait obtenu des résultats encourageants elle ne parvient plus aujourd'hui à évoluer aussi rapidement. L'amélioration du blé porte maintenant sur des caractères très complexes, présentant en majorité une distribution continue (Maccaferri et al, 2006). Parmi les nouvelles méthodologies permettant d'étudier de tels traits, l'utilisation de méthodes d'association phénotypes/génotype (Ibrokhim et al, 2008), grâce aux techniques de génotypage moléculaire à l'aide de marqueurs moléculaires, Le principe est de réaliser une corrélation statistique entre la variation phénotypique observée pour un caractère et la variation allélique observée au niveau génétique.

## 2) PRODUCTION ET IMPORTANCE DU BLE :

### 2.1 Le blé dans le contexte international :

Dans le monde, la culture des céréales représente un secteur économique important. La situation de la céréaliculture est liée à l'évolution des superficies, des productions et par conséquent des rendements obtenus. Les cinq premiers pays producteurs de blé mondiaux, selon la FAO (2006), durant les années 2003, 2004 et 2005 sont : La Chine qui vient au premier rang avec 19 % de la production mondiale, devant l'Inde (11,7 %), les États-Unis (10,7 %), la France (6,5 %), la Russie (5,5 %) et le Canada (4,3 %) (Tableau. I.1).

Le classement de l'année 2012 des dix premiers producteurs indique que la Chine est toujours en première position. Par contre les États-Unis se situent en troisième position après le Canada. Sept pays assurent les 3/4 des exportations mondiales et ce sont dans l'ordre les États-Unis (20%), l'Australie (12.1%), la France (11.3%), le Canada (10.1%), l'Argentine, la Russie et l'Ukraine (FAO, 2012).

Le blé est la première céréale cultivée au monde. Les superficies cultivées à travers les continents se mesurent en millions d'hectares et les récoltes en millions de tonnes (FAO, 1999). La production mondiale de blé dur varie entre 22,3 millions de tonnes (En 1983-84 et 1988-89) et 34,4 millions de tonnes (1991-92), soit une moyenne de 27 millions de tonnes, elle présente donc d'importantes fluctuations proches de 25% (ferret 1996, et Selim 2000 in Ait Kaki 2008). Par contre, la production mondiale de blé (tout blés confondus : dur et tendre) est de 660 millions de tonnes lors de la campagne 2009-2010 (Figure I.1), c'est-à-dire près de 100 kg par habitant par an, pour l'ensemble de la population mondiale. En volume de production, c'est la quatrième culture mondiale derrière la canne à sucre, le maïs et le riz (CIC, 2010).

**Tableau I.1 : Les dix grands premiers producteurs du blé dans le monde (10<sup>6</sup> t/an) (Fao, 2006)**

Rang	pays	Production 10 <sup>6</sup> t/an
1	China	115.18
2	India	80.80
3	United States of America	60.10
4	Russian Federation	41.51
5	France	40.79
6	Germany	24.11
7	Pakistan	23.31
8	Canada	23.16
9	Australia	22.13
10	Turkey	19.66

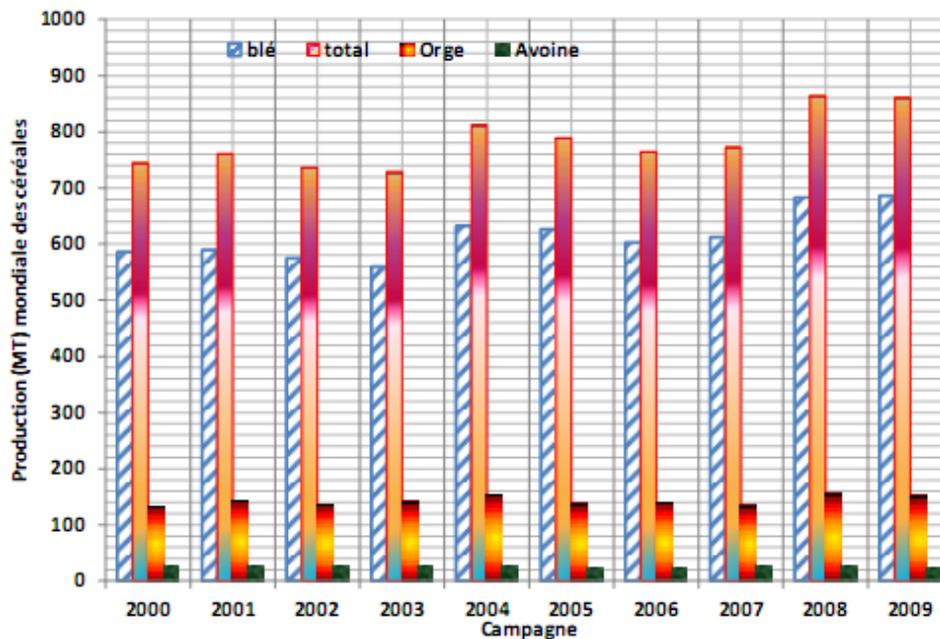


Figure I.1 : Evolution de la production mondiale des principales céréales (Fao, 2012).

## 2.2 Le blé dans le contexte national : (céréaliculture et blé)

Le secteur de céréales se situe au premier ordre des priorités économiques et sociales du pays. Il a occupé une place privilégiée dans les différents plans de développement socio-économiques que l'Algérie a élaborés depuis son accès à l'indépendance. Ceci est dû au rôle que jouent les céréales en tant que produits de première nécessité.

La céréaliculture Algérienne occupe une superficie de 3.3 millions d'hectares, dont 40-45 % sont réservés au blé dur. Le rendement demeure faible et irrégulier, il ne dépasse pas les 10 q/ha. La production des céréales en Algérie au cours de la période (2000-2010) est donnée par la figure I.2 (Madr 2011).

Si on s'intéresse d'une manière plus précise au blé, on constate qu'il occupe une place très importante dans la structure spatiale de l'activité agricole. Il occupe environ 60% des superficies céréalières emblavées qui représentent environ 45% de la SAU. Actuellement, la superficie moyenne du blé se situe à environ 1 664 345 Ha. Car les variations de la pluviométrie contribuent jusqu'à 50% à la différence des rendements d'une année à l'autre, et où la céréaliculture est difficilement substituable. On remarque que pour certaines années, les superficies récoltées ne représentent que 1/3 des superficies emblavées. On peut expliquer cette situation par les années de sécheresse qui touchent le pays, donc nous pouvons confirmer que la culture du blé en Algérie est fortement tributaire des eaux de pluie (Chehat, 2005) (tableau I.2).

Tableau I.2 : Superficies emblavées et récoltées pour le blé dur et le blé tendre .U : Ha

	Superficie	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004
<b>Blé Dur</b>	Emblavée	1 510 940	1 714 720	1 487 960	1 485 830	1 419 040	1 350 740	1 321 580	1 372 495
	Récoltée	590 920	1 707 240	889 090	554 470	1 112 180	813 890	1 265 370	1 307 590
<b>Blé Tendre</b>	Emblavée	734 420	874 210	791 140	860 170	834 760	813 770	812 510	808 750
	Récoltée	234 320	859 910	483 310	232 100	724 230	534 670	782 2300	70 010

Source : DRADPA/MADR 2005

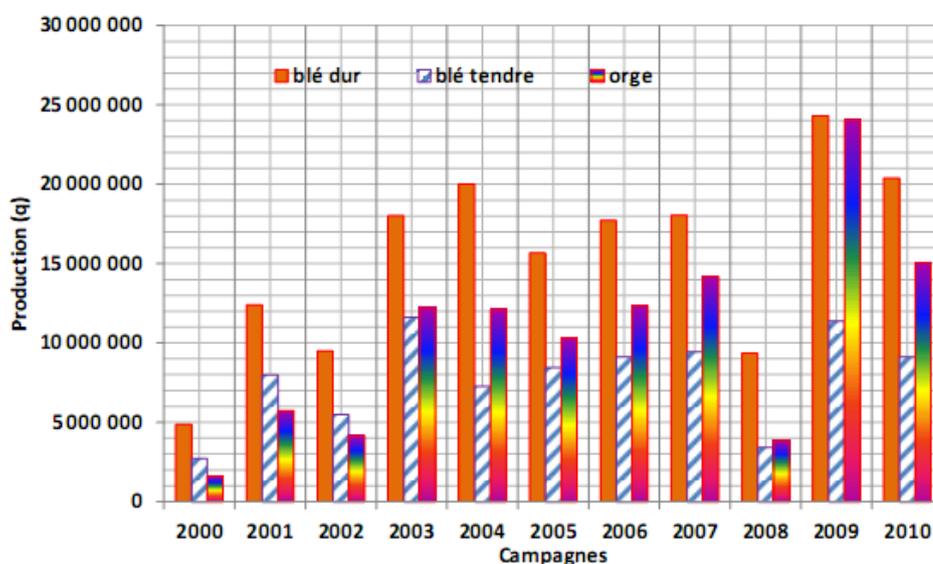


Figure I.2 : Production des céréales en Algérie au cours de la période 2000-2010 (Madr).

#### A/ Evolution de la culture céréalière au niveau national :

La céréaliculture, d'une manière générale, est pratiquée dans la moitié des exploitations agricoles, qui sont au nombre de 588 621 en 2001. Il est aussi possible de préciser les limites des zones géographiques où la céréaliculture domine. A cet effet, on distingue trois zones céréalières en fonction des quantités de pluie reçues au cours de l'année et des quantités de céréales produites (Chehat, 2005).

A] Une zone à hautes potentialités (Z1) : on y trouve une pluviométrie moyenne supérieure à 500 mm/an, avec des rendements moyens de 20qx/ha (plaines de l'Algérois et Mitidja, bassin des Issers, vallées de la Soummam et de l'Oued El Kébir, vallée de la Seybouse...). Cette zone couvre une SAU de 400 000 ha dont moins de 20% sont consacrés aux céréales.

B] Une zone à moyennes potentialités (Z2) : 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 15qx/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.

C] Une zone à basses potentialités (Z3) : caractérisée par un climat semi-aride et 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 8qx/ha. La SAU de la zone atteint 4,5 millions d'ha dont près de la moitié est emblavée (Figure I.3).

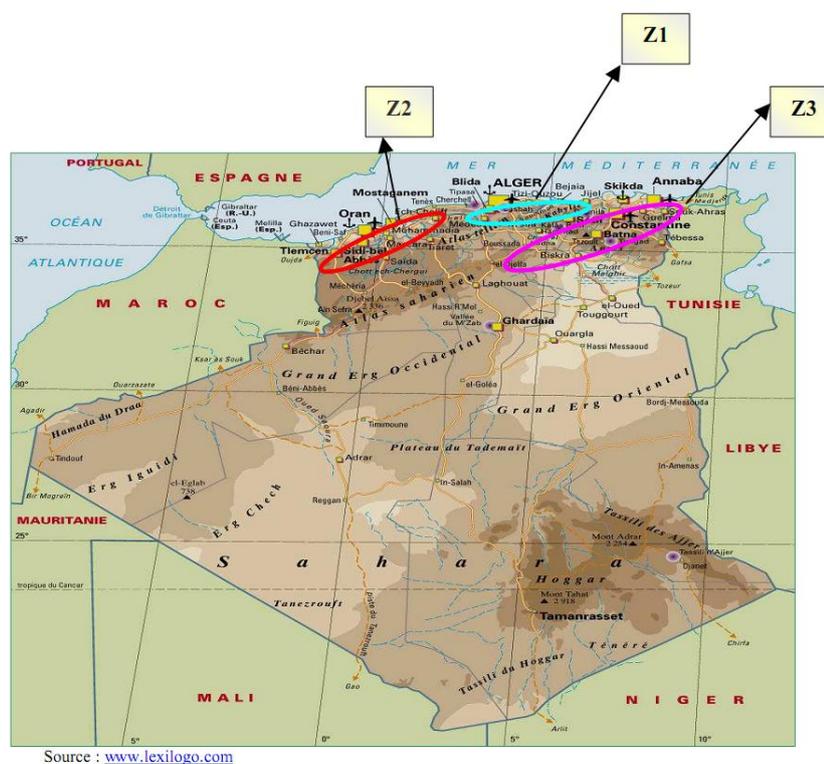
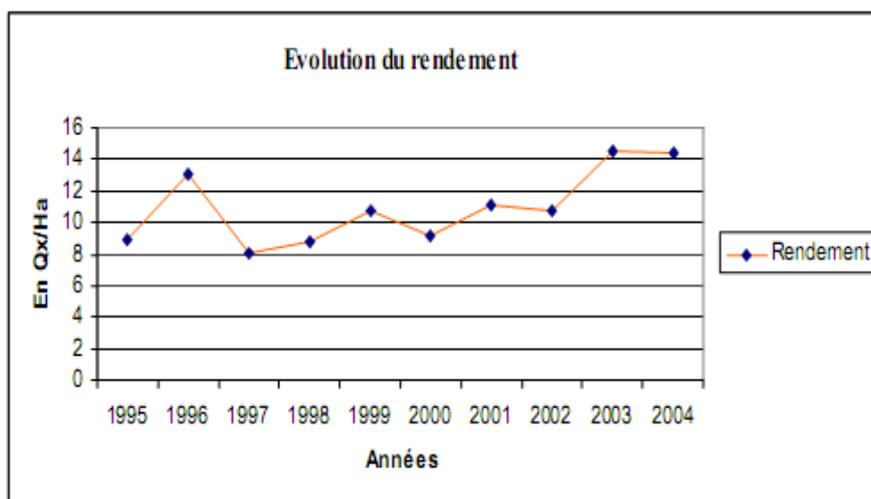


Figure I.3 : Localisation des zones céréalières en Algérie.

## B/ Les Rendements au niveau national

Bien que le calcul des rendements ne prend en compte que les superficies récoltées, on le trouve faible et surtout très aléatoire. Comparativement à la moyenne mondiale, qui est de 29 Qx/Ha pour 2004, le rendement du blé algérien n'est que pour les meilleures années 50% de la moyenne mondiale. Les rendements sont en moyenne de 10,5 Qx/Ha. (Ils sont parmi les plus faibles dans le monde) (Kellou, 2008). Figure I.4.



Source : FAOSTAT/MADR 2005

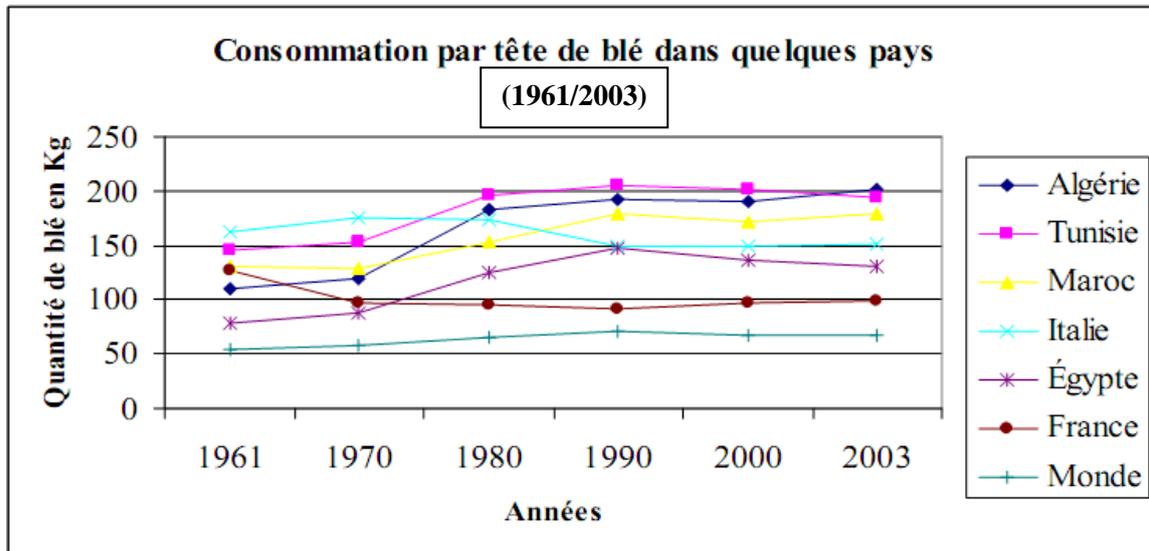
**Figure I.4 : Evolution du rendement de blé en Algérie de 1995 à 2004.**

L'ensemble des enquêtes menées sur la baisse des rendements, est due à la simplification des itinéraires techniques appliqués à la culture des blés. De ce point de vue, il faut relever que les opérations culturales considérées comme moins indispensables (réduction des façons culturales, suppression du roulage après semis, de la fertilisation chimique et du désherbage) sont supprimées dans la majorité des exploitations céréalières. La simplification volontaire des itinéraires techniques se répercute inévitablement et de manière négative sur le rendement même lorsque les conditions climatiques ont été favorables (Chehat, 2005).

### 2.3 Place du blé dans la consommation alimentaire des ménages :

Les céréales et leurs dérivés constituent l'épine dorsale du système alimentaire algérien. Effectivement, les céréales constituent la base du modèle de consommation alimentaire dans ce pays, comme dans la plupart des pays méditerranéens. 54% des apports énergétiques et 62% des apports protéiques journaliers provenaient de ces produits en 2003 et le blé représentait 88% des céréales consommées (Padilla et Oberti, 2000). L'Algérie se situe ainsi au premier rang mondial pour la consommation de blé avec plus de 201 kg par personne par an en 2003, l'Egypte se situant à 131 kg et la France à 98kg. (Tableau I.4 et figure I.5)

On note que la consommation par personne est en augmentation constante sur la période 1961-2003 dans les pays du sud de la Méditerranée et en déclin en Italie et surtout en France. La consommation totale connaît une progression encore plus importante du fait de la démographie dans les pays du Maghreb. En Algérie, on est ainsi passé de 1,2 MT en 1961 à 6,4 MT en 2003 (Bencherif et Rastoin, 2006).



Source : FAOSTAT, 2005

**Figure I.5 : Consommation de blé par tête dans quelques pays (1961/2003).**

On comprend, à travers ces chiffres, que le blé et ses dérivés basiques destinés à l'alimentation humaine (pain et semoule) constituent des produits qualifiés de stratégiques et font en conséquence l'objet d'une politique gouvernementale attentive.

Depuis la libéralisation des prix et l'augmentation relative de ces derniers pour les blés et leurs dérivés, on observe une diminution très importante du gaspillage (baisse du pouvoir d'achat) et une certaine rationalité de la part des consommateurs qui exigent en contrepartie des produits céréaliers de qualité meilleure (valeurs nutritionnelles) car ces derniers (semoule, farine, pâte) ont tendance à se substituer à d'autres aliments composant les protéines nobles (viande, poisson ...) (Talamali, 2004).

En Algérie, la filière céréales et dérivés fournissent plus de 60% de l'apport calorifique et 75 à 80% de l'apport protéique de la ration alimentaire. C'est ainsi, au cours de la période 2001-2003, les disponibilités des blés représentent un apport équivalent à 1505,5 Kcal/personne/jour, 45,533 gr de protéine /personne/j et 5,43 gr de lipide/personne /J. Cette importance résulte, notamment, de la place prépondérante qu'occupent les céréales et leurs dérivés dans l'alimentation humaine, notamment la semoule (couscous et pâtes) et la farine (pain), qui se traduit, au niveau des chiffres, par une demande d'environ 177 à 180 Kg par habitant en équivalent semoules et farines. Cette évaluation a pour corollaire, une demande

nationale estimée, au niveau global, toutes céréales confondues, à plus de 7 300 000 tonnes par an (Collection études sectorielles, 2004) (Tableau I.4).

**Tableau I.3 : Demande nationale en blés.**

**U : Tonne**

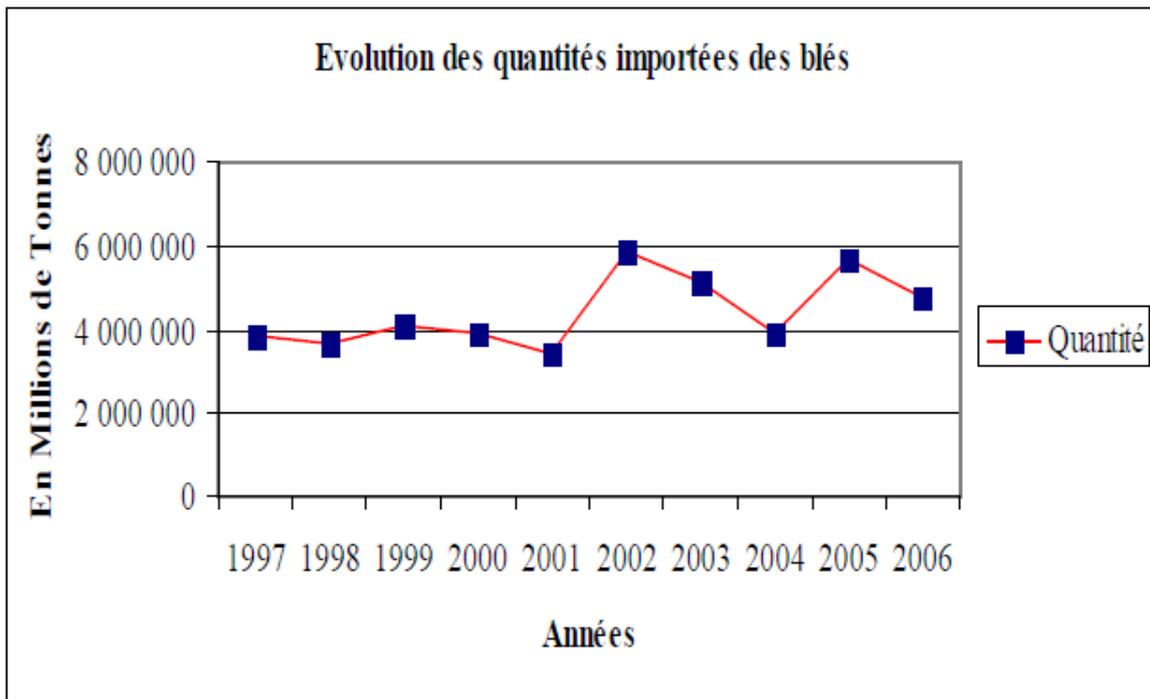
Espèces	Quantité demandée
Blé dur	2 700 000
Blé tendre	3 700 000
Orge, avoine, seigle	900 000
<b>Total</b>	<b>7 300 000</b>

Source : Collection études sectorielles, 2004.

### 3) IMPORTATION DES BLES EN ALGERIE :

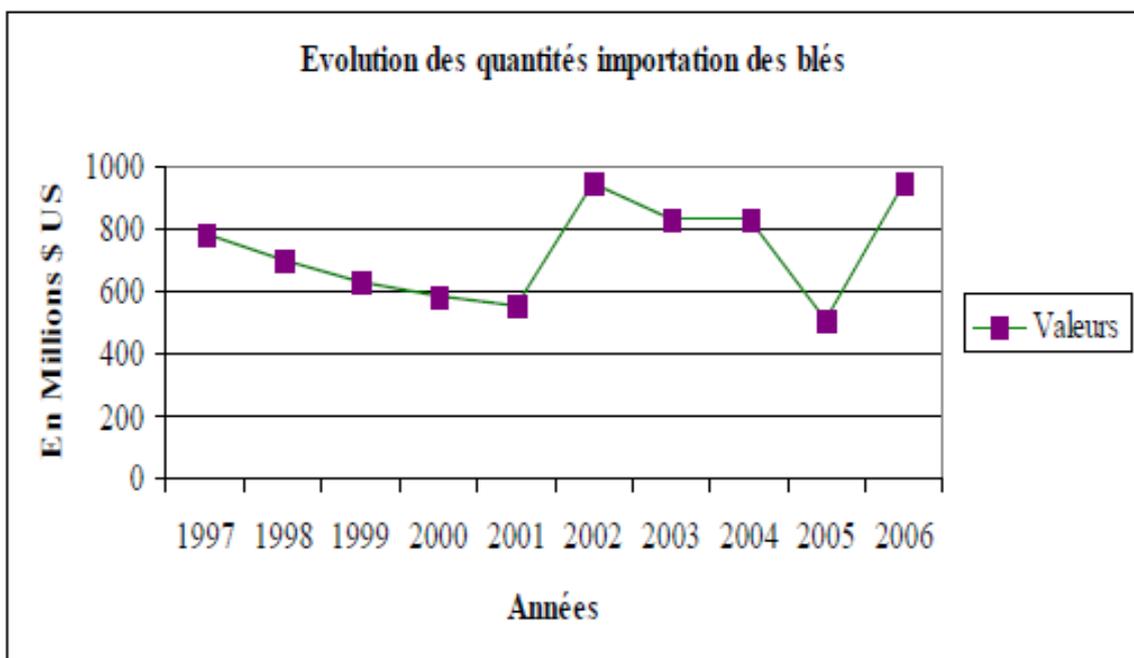
La production nationale ne contribue qu'à 20% de la consommation humaine, donc la différence est comblée par les importations qui peuvent occuper pour certaines années 80% des disponibilités nationales. La quantité moyenne importée durant la dernière décennie dépasse les quatre millions de tonnes par an, pour une facture de 730 millions de dollars (\$ US). Ainsi, les importations, qui étaient de l'ordre de 500 000 quintaux par an durant la décennie 1920 (Rouverou P. 1930), soit 27 kg par personne, sont passées à quatre millions de quintaux en 1960, selon (Bencharif et al, 1996), c'est-à-dire 40 kg par personne. Elles ont atteint 60 millions de quintaux en 2005 (figure I.6), pour un coût de 500 millions de dollars américains (figure I.7), soit 43 % de la valeur globale des importations du pays (CNIS, 2005). Cette quantité place l'Algérie parmi les plus gros importateurs mondiaux de céréales, en occupant 65 % du marché africain (Maggie, 2000). Représentées en majorité par le blé dur (14 millions de quintaux), le blé tendre (26 millions de quintaux), l'orge (16 millions de quintaux) et l'avoine (quatre millions de quintaux), les plus importantes quantités sont achetées à la France (CNIS, 2005).

Les importations jouent un rôle clé dans l'approvisionnement du marché national des céréales. Les très faibles progrès enregistrés par la production domestique de grains condamneront l'Etat à rechercher les moyens d'une gestion rationnelle des approvisionnements à l'extérieur, adaptés aux ressources budgétaires du moment, mais offrant une garantie contre les risques de pénurie, toujours vécus sur le mode dramatique.



Source : OAIC et Douanes Algériennes, janvier 2007.

**Figure I.6 : Evolution des quantités importées des blés (tendre et dur) (En Millions de Tonnes).**



Source : OAIC et Douanes Algériennes, janvier 2007

**Figure I.7 : Evolution des quantités importées des blés (tendre et dur) en Millions de dollars US.**

La politique de l'Algérie en vue de se prémunir des périodes de vaches maigres est la constitution de stocks de céréales. En Effet, un certain nombre de mesures ont été prises afin d'améliorer les capacités de production céréalière du pays et ainsi répondre à la demande nationale en blé et réduire la facture des importations alimentaires. « Toutefois, la situation actuelle du marché marqué par une production en baisse en Afrique du Nord et des prix mondiaux à la hausse, a renforcé la dépendance du pays face à l'importation de blé sur le court terme », estiment les experts du cabinet britannique de l'expertise économique et financière.

La production du pays varie entre 2 millions et 6 millions de tonnes, en fonction de la pluviosité. Selon les estimations du Ministère de l'Agriculture, la récolte totale de céréales pourrait atteindre 5,8 millions de tonnes en 2012, par rapport à une production de 4,2 millions de tonnes en 2011 où les conditions climatiques avaient été particulièrement mauvaises. Cependant, le pays va « rester dépendant des importations sur le moyen terme pour pouvoir répondre à une demande nationale en céréales estimée à environ 7 millions de tonnes par an et à une demande en blé meunier est estimée à elle seule à 450 000 tonnes par mois.», écrit Oxford Business Group.

## II LA RELATION RENDEMENT EN GRAIN /TENEUR EN PROTEINES

### 1. Rendement en grains et teneur en Protéines :

Le rendement en grains d'une culture de blé et la teneur en protéines des grains sont les produits de différentes composantes mises en place tout au long du cycle de culture, durant la période végétative puis durant celle du remplissage du grain. Ces deux variables résultent de l'intégration de processus en rapport à la fois avec les métabolismes du carbone et de l'azote. Le rapport C/N du grain étant largement en faveur du carbone, le rendement en grains dépend en premier lieu des facteurs déterminant l'assimilation photosynthétique, le stockage et la remobilisation des hydrates de carbone. Quant à elle, la teneur en protéines dépend fortement de la quantité d'azote absorbée et remobilisée vers le grain mais, du fait que son calcul intègre le rendement en grains, cette variable traduit mal ces deux processus. En effet, à teneurs en protéines égales, des génotypes présentant des rendements différents sont aussi des génotypes présentant des quantités d'azote absorbées et/ou remobilisées très différentes. A ce titre, le rendement en protéines (produit de la teneur en protéines et du rendement en grains, exprimé en kg de protéines par hectare) reflète mieux les performances des génotypes en termes d'absorption et d'allocation de l'azote vers les grains (Matthieu Bogard, 2011).

### 2. Intérêts portés au rendement en grains et à la teneur en protéines des blés :

Le rendement en grains est la cible principale des programmes d'amélioration variétale toutes céréales confondues. Différentes études ont pointé une stagnation des rendements du blé depuis la fin des années 1990 en France et plus largement en Europe (Brisson et al., 2010), aux USA (Graybosch and Peterson, 2010) et en Asie (Kalra et al., 2008). Brisson et al. (2010) mettent en avant des raisons liées aux changements climatiques mais aussi à la diminution de l'application de fertilisants azotés et à une modification des rotations culturales favorisant le Colza (*Brassica napus*) au détriment des Fabacées (précédent cultural fixateur symbiotique d'azote). Ces auteurs écartent l'idée selon laquelle le progrès génétique, estimé à 0.1 t ha<sup>-1</sup>an<sup>-1</sup> sur la période 1980-2010, aurait atteint son niveau maximal, ce qui avait été envisagé par ailleurs (Calderini and Slafer, 1998). Cette stagnation des rendements, alors que les terres arables disponibles au niveau mondial sont en régression et la population en augmentation constante (estimée à 10 milliards d'êtres humains en 2050 selon la FAO), est une source de préoccupations pour les gouvernements qui dès lors encouragent les recherches qui promettent un nouveau "grand pas en avant" comme celui réalisé dans les années 1960

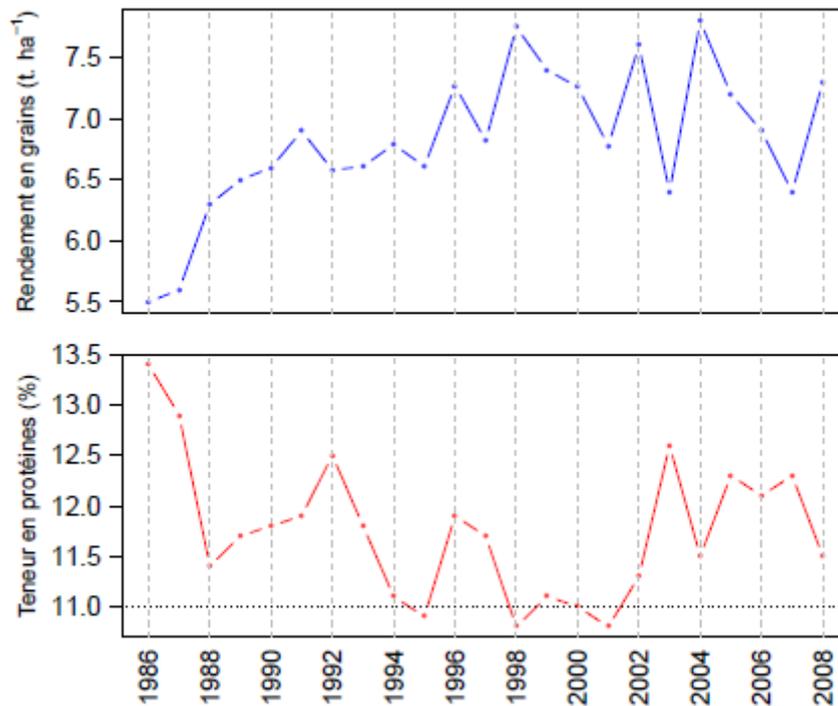
avec l'introduction des gènes de nanismes et de tolérance aux maladies qui ont permis la "révolution verte" en Asie du Sud-Est et en Amérique Latine (Fedoroff et al., 2010).

Bien que le rendement en grains reste la cible principale des programmes d'amélioration variétale des blés, la teneur en protéines est également une cible d'intérêt. En effet, une teneur élevée en protéines est recherchée en panification, bien que la relation entre l'aptitude à la panification et la teneur en protéines dépende du génotype considéré du fait de l'existence d'une variabilité génétique pour la synthèse des protéines du grain sur le plan qualitatif. Le type de protéines et le ratio des différentes fractions sur la quantité de protéines totale sont ainsi des facteurs importants pour la prédiction de la valeur d'utilisation des blés (Branlard et al., 2001; Oury et al., 2010). Une teneur élevée en protéines est également recherchée pour les blés destinés à l'alimentation animale où elle constitue une composante importante de sa valeur nutritionnelle (Oury et al., 2003).

D'autre part, des pénalités commerciales sont appliquées à l'exportation aux lots de blé présentant une teneur en protéines inférieure à 11%. Or, pour certains pays comme la France, le principal débouché des blés étant l'exportation pour l'alimentation humaine, la stabilité de la teneur en protéines est un impératif majeur. D'un point de vue agronomique, les performances génotypiques pour ces deux caractères dépendent potentiellement de nombreux facteurs tout au long du cycle de la plante ; ces facteurs étant à la fois génétiques, environnementaux ou le produit de leur interaction (Matthieu Bogard, 2011).

### **3. La relation négative teneur en protéines - rendement en grains chez le blé :**

L'augmentation du rendement en grains des cultures de blé a été accompagnée d'une baisse de la teneur en protéines (Figure I.7). En France, les rendements en blé sont passés de 5.5 t ha<sup>-1</sup> en 1986 à 7,3 t ha<sup>-1</sup> en 2008 et la teneur en protéines de 13.4 à 11.5% sur la même période. Il a été estimé qu'une augmentation du rendement de 1 t ha<sup>-1</sup> est suivie d'une baisse concomitante de la teneur en protéines de 1g/100g matière sèche (Le Buanec, 1999; Oury et al., 2003; Triboï et al., 2006).



**Figure I.7** – Évolution du rendement en grains et de la teneur en protéines des blés récoltés en France de 1986 à 2008. La ligne tireté grise représente le seuil de 11% de teneur en protéines en deçà duquel des pénalités commerciales sont appliquées à l’export. Source : “La France Agricole”.

Cette tendance est attribuée à la relation négative teneur en protéines du grain – rendement en grains qui résulte des interconnexions entre métabolismes carbonés et azotés. Cette corrélation négative a été observée depuis très longtemps chez le blé (Grant and McCalla, 1949). De manière analogue, des relations négatives entre le rendement en grains et la teneur en huile chez le tournesol (Aguirrezábal et al., 2009) ou le rendement en fruits et la teneur en sucres chez la tomate (Prudent et al., 2009) ont également été observées. Il a été envisagé que la focalisation sur le rendement en grains, au cours de l’amélioration variétale du blé, a conduit à une augmentation de l’assimilation du carbone et de sa translocation vers les grains sans augmenter en retour l’absorption et la remobilisation de l’azote (McNeal and Berg, 1978).

#### 4. Déterminisme de la relation négative teneur en protéines - rendement en grains :

La relation négative teneur en protéines - rendement en grains a fait l’objet de nombreuses études chez les céréales, dont le blé tendre en particulier, mais son déterminisme reste mal compris. Néanmoins, en se basant sur la littérature portant sur ce sujet, trois hypothèses principales sont proposées.

#### **4.1 Compétition pour l'énergie :**

Il a été proposé que la compétition entre les métabolismes carbonés et azotés pour les squelettes carbonés au cours de la période de remplissage des grains pourrait expliquer cette relation négative (Bhatia and Rabson, 1976). Penning et al. (1974) ont calculé le coût énergétique en équivalent glucose de la production d'hydrates de carbone, de protéines et de lipides. Sur la base de leurs calculs, 1g de glucose peut être investi pour la production de 0.83g d'hydrates de carbone, de 0.4g de protéines ou de 0.33g de lipides.

Ces considérations bioénergétiques permettent d'expliquer les différences inter-spécifiques de rendement (Munier-jolain and Salon, 2005). Ainsi, les espèces à forte teneur en protéines ou à forte teneur en huile présentent un rendement en grains plus faible que les espèces telles que les céréales, pour lesquelles le grain est riche en hydrates de carbone. Cette hypothèse ne prend pas en compte la "rentabilisation" du coût énergétique de l'assimilation de l'azote par la contribution de cet élément à l'assimilation carbonée (Bänziger et al., 1994).

#### **4.2 Variabilité génétique pour la durée de sénescence des feuilles après floraison :**

Reed et al., 1980 et Dalling et al., 1976, proposent que la remobilisation de l'azote des feuilles vers les grains accélère la sénescence et diminue la durée de remplissage des grains.

En effet, la sénescence monocarpique contribue de manière antagoniste à ces deux processus ; un retardement ou un ralentissement de la sénescence conduisant à une augmentation de la quantité d'assimilats carbonés et à une diminution concomitante de l'efficacité de remobilisation de l'azote (Gregersen et al., 2008). De fait, l'existence d'une variabilité génétique associée aux paramètres de cinétique de sénescence (date de début, vitesse) est susceptible d'aboutir à une relation négative entre la teneur en protéines et le rendement en grains.

Dans ce cadre, il est attendu que les génotypes à sénescence rapide ("early senescent") assimilent moins de carbone après floraison et remobilisent l'azote des parties végétatives plus efficacement, aboutissant ainsi à un rendement en grains faible mais à une teneur en protéines élevée. A l'inverse, les génotypes à sénescence lente ou retardée ("stay-green") seraient caractérisés par une assimilation plus importante de carbone conduisant à une forte dilution des protéines du grain renforcée par leur plus faible efficacité de remobilisation de l'azote. Ces derniers atteindraient alors des rendements en grains élevés mais des teneurs en protéines faibles.

### 4.3 Incompatibilité génétique :

Différents auteurs ont proposé l'existence de facteurs génétiques expliquant la relation teneur en protéines - rendement en grains (Pepe and Robert, 1975; Miezán et al., 1977; McNeal and Berg, 1978). Sur le plan génétique, l'existence d'une relation négative implique la présence de gènes à effets antagonistes fortement liés génétiquement ou bien la présence de gènes à effets pleiotropes affectant les deux caractères à la fois. Dans ce cas, un gène pleiotrope pourrait être défini comme déterminant un processus physiologique à effet antagoniste sur le rendement en grains et la teneur en protéines (*e.g.* la cinétique de sénescence). Kibite and Evans (1984) mettent en avant le fait que rendement en grains et teneur en protéines sont sous l'influence de nombreux gènes présent sur différents chromosomes ; ce qui est par ailleurs supporté par les nombreuses détections de QTL réalisées pour ces deux caractères (Perretant et al., 2000; Zanetti et al., 2001; See et al., 2002; Blanco et al., 2002; Groos et al., 2003; Prasad et al., 2003; Turner et al., 2004; Charmet et al., 2005; Kulwal et al., 2005; Blanco et al., 2006; Huang et al., 2006; Laperche et al., 2007; Suprayogi et al., 2009). Ceci rend peu probable l'hypothèse d'une incompatibilité génétique stricte mais n'exclut pas la présence de gènes à effets pleiotropes.

### 5. Les perspectives d'amélioration du rendement en grains et de la teneur en protéines :

L'amélioration des capacités d'assimilation du carbone en ciblant des mécanismes biochimiques de la photosynthèse semble difficile à atteindre (Lawlor, 2002) bien que des études de transgénèse ayant introduit des enzymes clés de la photosynthèse de type C4 du maïs chez le riz semblent avoir été couronnées de succès (Ku et al., 2000). Au cours de l'amélioration du rendement en grains chez le blé, les progrès les plus significatifs n'ont pas porté sur la quantité de biomasse accumulée mais plutôt sur son allocation au cours du développement. L'introduction de gènes de nanisme (*RHT*), considérés comme les gènes de la "révolution verte", dans des variétés élites par Dr Norman Borlaug, et depuis prix Nobel de la paix (1970), a permis d'améliorer fortement l'indice de récolte (rapport biomasse des grains / biomasse totale) et d'utiliser plus intensivement les fertilisants azotés.

Or, dans un contexte économique et environnemental appelant à limiter les apports de fertilisants azotés, l'amélioration de l'efficacité de l'utilisation de l'azote apparaît nécessaire afin de maintenir les rendements tout en diminuant la consommation de fertilisants. L'efficacité d'utilisation de l'azote (NUE ; "Nitrogen Use Efficiency") est définie comme le rendement en grains par unité d'azote disponible dans le sol au cours de la culture (fertilisant

et azote minéralisé compris). Elle peut être décomposée en une efficacité d'absorption (azote total à maturité par unité de fertilisant azoté) et une efficacité d'assimilation de l'azote (rendement en grains par unité d'azote total à maturité).

De manière générale, l'efficacité d'absorption de l'azote des plantes cultivées est faible ; de l'ordre de 50% de l'azote total disponible (Hirel et al., 2007). Techniquement, afin d'améliorer la NUE, deux voies sont envisageables : l'utilisation de la variabilité pour l'utilisation de l'azote disponible dans le pool de gènes d'une espèce donnée (sélection phénotypique, sélection assistée par marqueurs, introgression de gènes provenant d'espèces apparentées) ou l'introduction de "nouveaux" gènes (transgénèse, mutagénèse) (Habash et al., 2001; Yamaya et al., 2002; Andrews et al., 2004; Shrawat et al., 2008). D'autres gènes impliqués dans l'absorption et l'assimilation de l'azote sont susceptibles d'être utilisés afin d'améliorer la NUE par voie transgénique (Good et al., 2004).

La relation négative teneur en protéines - rendement en grains prédit qu'une augmentation du rendement en grains (ou de la NUE), entraîne une diminution de la teneur en protéines. Pour contrecarrer les effets négatifs de cette relation, une stratégie consiste à fractionner les apports d'azote et à appliquer le dernier apport autour du stade épiaison (Oury et al., 2003). Cette pratique comporte le risque que cet apport tardif d'azote soit peu valorisé car elle repose sur le fait que les conditions pédoclimatiques, en particulier la disponibilité en eau, soient favorables à l'absorption d'azote post-floraison. Dans le cas contraire, cet apport tardif d'azote serait peu valorisé et pourrait être à l'origine de conséquences négatives sur les écosystèmes. D'autres stratégies dans le champ de l'amélioration variétale ont été suggérées comme cibler l'indice de récolte de l'azote et l'absorption d'azote (Dubois and Fossati, 1981), cibler le rendement en azote ou la teneur en protéines au-dessus d'un seuil de rendement prédéfinis (Monaghan et al., 2001), l'utilisation d'indices de sélection (Iqbal et al., 2007) ou l'introgression de gènes augmentant la teneur en protéines en provenance d'espèces apparentées (Mesfin et al., 1999).

### III. LES CRITERES D'APPRECIATION DE LA QUALITE DU GRAIN DU BLE DUR :

Le blé dur est employé depuis longtemps dans les pays méditerranéens pour la fabrication de pains plats traditionnels et d'autres pains de spécialité (Quaglia, 1988). La notion de qualité est complexe, elle est conditionnée par les habitudes alimentaires, les spécificités des blés et les technologies de transformation utilisées (Mebtouche, 1998).

La qualité est une somme de caractéristiques qui vont du rendement semoulier jusqu'à l'aptitude à la transformation (Porceddu, 1995), et s'élabore toute au long du cycle de développement pour répondre d'une part aux attentes des industriels, semouliers et pastiers et d'autre part aux critères nutritionnels, organoleptiques et hygiéniques. (Liu et al., 1996). Il existe plusieurs critères pour l'appréciation de la qualité des grains de blé dur. Ils dépendent en partie de la variété et de techniques culturales :

#### 1. Le taux de mitadinage :

Le taux de mitadinage est un critère d'appréciation déterminant dans le rendement et la qualité de la semoule et des produits dérivés. D'après Matweef (1946) le mitadinage serait dû, en particulier, à l'excès d'eau dans le sol et à un déficit d'azote et qui donne un grain gonflé, blanchâtre, à structure partiellement ou entièrement farineux, diminuant le rendement en semoule.

Il est donc important de contrôler le pourcentage de grains mitadinés, car il apporte une indication directe sur la valeur semouliers (Desclaux, 2005).

Outre son effet défavorable sur le rendement en semoule, le mitadinage exerce une influence défavorable sur la qualité culinaire des pâtes alimentaires (Feillet, 1986).

En l'absence de tels accidents, les blés se présentent de façon normale et peuvent avoir, au contraire, des différences très sensibles, concernant en particulier, l'épaisseur du son ainsi que la coloration et la composition physico-chimique de l'amande ; ces caractères, varient surtout en fonction de la variété, influant tant sur le rendement en semoulerie que sur la valeur des pâtes alimentaires (Matweef, 1946 ; Feillet, 1996).

C'est la structure vitreuse de l'amande qui favorise la formation des semoules; la structure farineuse, jugée comme anomalie pour un blé dur, tend à fournir des farines (Samson et Morel, 1995).

## **2. Poids de Mille Grains (PMG) :**

Connaître la masse de 1000 grains d'un échantillon de céréales donne des indications sur le mode d'élaboration du rendement et des problèmes pendant son développement (échaudage, attaques par les insectes ou par les maladies). La présence de grain échaudé a une incidence sur le rendement en mouture (Dexter et Matsuo, 1977).

Pour les agriculteurs, cette analyse permettra de calculer plus précisément les doses de semences nécessaires pour répondre à un objectif de densité de semis.

Le PMG, pour une même variété, est corrélé positivement au taux d'extraction de semoule. Dans les zones chaudes de culture du blé dur telle que l'Afrique du nord, les PMG sont moins importants. Ce déficit provient de la brièveté de la période de reproduction (Grignac, 1981 ; (Benbelkacem et Kellou, 2000).

## **3. Le Poids Spécifique (PS) :**

Le PS est une ancienne mesure qui permet de mesurer la masse de grains pour un volume donnée (kg/hl), c'est la masse volumique dite masse à l'hectolitre. Etant toujours prise en compte dans les transactions commerciales, c'est une analyse qui présente toujours un intérêt. Elle est considérée comme un indicateur de la valeur semoulière en relation avec le rapport enveloppe sur amande. Plus le poids à l'hectolitre est élevé, plus le rapport enveloppes sur amande est faible et le rendement semoulier important (Scotti, 1997).

## **4. Teneur en eau :**

L'eau est un des constituants de base du grain (environ 13%). L'intérêt de connaître précisément la teneur en eau d'une céréale ou de la farine est avant tout réglementaire. En effet, la réglementation impose une teneur en eau  $<$  à 15% afin de faciliter la conservation et d'éviter une altération (Scotti, 1997).

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 du grain.

## **5. Les composants du grain en relation avec la qualité :**

La qualité du blé est influencée par chacun des constituants du grain qui joue un rôle seul ou en interaction avec d'autres constituants dans l'expression de la qualité. Parmi ces composantes : Les protéines, l'amidon, les sucres, les lipides, les enzymes, etc.

### 5.1 Les protéines :

Le grain de blé dur est constitué d'environ 12 % de protéines, qui sont essentiellement localisées dans l'albumen et la couche à aleurone. Cette teneur est susceptible de varier énormément (de 8 à 20 % de MS), en fonction des variétés, des facteurs climatiques, agronomiques et des conditions physiologiques de développement de la plante, des parties histologiques du grain et de la maturation du grain.

C'est à Osborne (1907) que l'on doit la première classification des protéines. Il les a séparait en deux grands groupes suivant leur solubilité dans l'eau (Linden et Lorient, 1994). **Les protéines solubles** : représente 15 à 20 % des protéines totales (Albumines solubles dans l'eau, Globulines solubles dans les solutions salines) et **Les protéines de réserves** : représentent 80 à 90 % des protéines totales (Gliadines solubles dans les solutions alcooliques, Gluténines solubles dans les solutions diluées d'acides ou de bases, ainsi que dans les détergents) (Hernandez *et al.*, 2004).

Les protéines de la semoule de blé dur interviennent à la fois dans le développement des propriétés viscoélastiques des pâtes cuites et dans leurs états de surface (collant, état de surface) (Matsuo *et al.*, 1982 ; Feillet 1984). Masci *et al.* (1995), affirment que les protéines stockées dans le blé déterminent plusieurs caractéristiques de l'évolution de la qualité de la farine et de la semoule de blé.

Sur le plan quantitatif la teneur en protéines dépend essentiellement des conditions agronomiques du développement de la plante (Mok, 1997). Et sur le plan qualitatif, elle est basée sur les différences de propriétés des protéines, celle-ci étant liées au patrimoine génétique de la variété. Et d'après Kaan *et al.*, (1993) une teneur en protéine du grain élevée et stable est un caractère génétique d'importance capitale pour l'obtention de produits de qualité, mais elle est difficile à combiner avec d'autres caractères favorables des variétés modernes. Matweef, (1966) recommande un blé dur ayant une teneur en protéines supérieure à 13 % pour la production de bonnes pâtes car une teneur inférieure à 11 % donne des pâtes de mauvaise qualité

Selon LIU *et al.* (1996), la qualité de la protéine d'une culture particulière est généralement présumée être contrôlée par un type d'allèles présents dans diverses loci et qui contrôlent le gluten des protéines, nommés les gliadines et les gluténines.

## 5.2 Le gluten :

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

Les protéines du gluten constituent 80 % du total des protéines du grain (Osborne 1907 ;Liu et al. 1996). Les composantes majeures du gluten sont les gliadines et les gluténines, qui représentent 70 % des protéines totales du blé. Ce sont les deux principaux groupes de protéines de l'endosperme, et varient suivant la variété de blé utilisée (Linden et Lorient 1994 ; Masci et al. 1995 ; Mok 1997).

La qualité des gliadines influence l'extensibilité de la pâte, les gluténines lui donnent élasticité et ténacité.

## 5.3 La teneur en amidon :

L'analyse de la teneur en amidon présente un intérêt nutritionnel vu que l'amidon est une source de glucides importante dans l'alimentation et un intérêt réglementaire dans le but de contrôler la pureté des amidons industriels (ITCF & ONIC, 1995).

L'amidon constitue le glucide le plus consommé dans le monde. C'est grâce à leur richesse en amidon que les céréales sont une source d'énergie. L'amidon a un rôle important dans la panification puisqu'il assure la dilution du gluten, fixe l'eau et constitue une source de sucres fermentescibles (Feillet, 2000). Par son pouvoir fixateur d'eau, variable selon le degré d'endommagement des granules, et sa capacité à former des liaisons non-covalentes (liaisons hydrogènes) avec les protéines, l'amidon contribue de manière active à la formation de la pâte. D'autre part, il ressort de travaux d'Eliasson *et al.* (1995) que l'aptitude à la panification des amidons de blé serait d'autant meilleure que leur température de gélatinisation est élevée.

# **ETUDE EXPERIMENTALE**

## CHAPITRE II. MATERIEL ET METHODES

L'expérimentation a été menée en deux parties; la première au champ où des essais ont été réalisés durant deux campagnes successives (2012/2013 et 2013/2014) et la deuxième partie au laboratoire de contrôle de qualité pour l'analyse technologique des produits des deux campagnes.

Les 20 génotypes de blé dur qui ont fait l'objet de ce travail comportent 5 variétés améliorées d'utilisation répandues dans la région (wilaya de Constantine et ses environs) et 15 lignées avancées introduites du CIMMYT et sélectionnées à l'ITGC d'Elkhroub.

**1. Expérimentation 1.** Détermination et évaluation des caractères agronomiques : Le rendement grain et ses composantes (Essais au champ).

### 1.1. Présentation de la région d'étude :

L'essai a été conduit à la ferme expérimentale agricole de l'Institut Technique des Grandes Cultures d'Elkhroub (Constantine) à une altitude de 640m, une latitude de 6°67' N et une longitude de 36°55' E au site dénommée ELBAARAOUIA sur la parcelle SAAD BELKHIR. La région d'El-Khroub située dans l'Est du pays fait partie des hautes plaines intérieures algériennes (Benbelkacem A., 2000). Elle est limitée au Nord par la région de Constantine, au Sud par la wilaya d'Oum-El-Bouaghi, à l'Est par la région d'Oued Zenati et à l'Ouest par la wilaya de Mila (Madaci, 1991).

### 1.2. Caractérisation climatique de la région d'étude :

Cette région est sous la dominance d'un climat continental à fortes amplitudes thermiques, tant annuelles que journalières, qui se caractérise par des hivers froids, un régime pluviométrique irrégulier, des gelées printanières très fréquentes et des vents chauds et desséchants en fin de cycle de la céréale (Baldy et al., 1993).

### 1.3. Caractéristiques pédologiques du sol :

Les sols du site expérimental sont caractérisés par une topographie plate, appartiennent au groupe des sols argilo-limoneux et sont d'une profondeur de 120 cm.

### 1.4. Mise en place de l'essai :

Les essais ont été réalisés durant les campagnes 2012-2013 et 2013-2014. Pour chacune des deux années le dispositif expérimental adopté était le bloc aléatoire complet ou bloc de Fisher randomisé avec quatre répétitions. Les 20 variétés (génotypes) de blé dur

ont été réparties au hasard dans chacun des blocs. Chacune des parcelles élémentaires a 10 mètres de longueur sur 1.2 mètres de largeur (6 lignes distantes de 20 cm l'une de l'autre soit une superficie de 12m<sup>2</sup>).

Les travaux culturaux effectués pour la mise en place de l'expérimentation sont présentés au Tableau II.1 Le précédent cultural est une jachère travaillée, les outils utilisés ainsi que les apports en engrais et leurs dates sont présentés dans le tableau suivant.

**Tableau II.1 Principales caractéristiques des essais durant les deux campagnes.**

<b>Caractéristiques des essais</b>	<b>Dates, outils et doses utilisées</b>
<b>Précédent cultural</b>	Jachère travaillée.
<b>Le labour</b>	Effectué en octobre de profondeur 35cm avec une Charrue à soc (sol semi humide)
<b>Recroisement</b>	1 <sup>er</sup> passage Mai 2013 2 <sup>ème</sup> passage Octobre 2013 avec un Cover crop.
<b>Fertilisation de fond</b>	100Kg/ha de MAP le 20/11/2013 et le 3 <sup>ème</sup> passage Cover crop fin Novembre 2013
<b>Date d'installation de semi</b>	du 11/12/2013 au 25/12/2013
<b>Dose de semis</b>	120 kg/ha Semoir expérimental de type Ojord
<b>Fertilisation azotée</b>	LUREE 46% /Dose 1,5qx/ha le 26 février 2014
<b>Désherbage chimique</b>	TRAXOS + Zoom (Anti dicotylédone + Anti graminées). 16/ février/2014. Dose.1, 2L/ha Traxos +120gr/ha Zoom
<b>la récolte</b>	Du 29 juin au 24 juillet 2014, Mode de récolte Mécanique

### 1.5. Matériel végétal :

L'étude a porté sur 20 géotypes de blé dur représentés dans le tableau II.2.

**Tableau II.2 Génotypes de blé dur utilisés dans l'expérimentation.**

code	Variétés ou lignées
<b>V1</b>	<b>WAHA</b>
<b>V2</b>	ARMENT//SRN_3/NIGRIS_4/3/CANELO_9.1/4/TOSKA_26/...
<b>V3</b>	1A.1D 5+1-06/3*WB881/6/CHEN_1/TEZ/3/GUIL//CIT71/CII/4/...
<b>V4</b>	PLATA_6/GREEN_17/3/CHEN/AUK//BISU*2/5/PLATA_3//GREX/...
<b>V5</b>	<b>SIGUS</b>
<b>V6</b>	AINZEN_1//PLATA_6/GREEN_17/5/TATLER_1/TAROO_1/3/...
<b>V7</b>	LD357E/2*TC60//JO69/3/FGO/4/GTA/5/SRN_1/6/TOTUS/7/ENTE/...
<b>V8</b>	GODRIN/GUTROS//DUKEM/3/THKNEE_11/4/DUKEM_1//PATKA_7/...
<b>V9</b>	GUANAY//TILO_1/LOTUS_4/3/SOMAT_3/PHAX81//TILO_1/...
<b>V10</b>	<b>BENI MESTINA</b>
<b>V11</b>	AJAIA_12/F3LOCAL(SEL.ETHIO.135.85)//PLATA_13/3/...
<b>V12</b>	AJAIA_12/F3LOCAL(SEL.ETHIO.135.85)//PLATA_13/3/...
<b>V13</b>	NETTA_4/DUKEM_12//RASCON_19/3/DIPPER/RISSA//ALTER 84/...
<b>V14</b>	MOHAWK/10/LD357E/2*TC60//JO69/3/FGO/4/GTA/5/SRN_1/6/...
<b>V15</b>	<b>AIN LEHMA</b>
<b>V16</b>	ADAMA_15//ALBIA_/ALTAR 84/3/SNITAN/4/SOMAT_4/INTER_8/...
<b>V17</b>	SILVER_14/MOEWE//BISU_1/PATKA_3/3/PORRON_4/YUAN_1/9/...
<b>V18</b>	BICHENA/AKAKI_7/4/LIS_8/FILLO_6/3/FUUT//HORA/JOR/5/...
<b>V19</b>	DUSKY_2/3/MINIMUS/COMB DUCK_2//CHAM_3/9/USDA595/3/...
<b>V20</b>	<b>GTA/DUR69..</b>

### 1.6. Les Mesures Réalisées :

Les mesures ont porté sur le nombre d'épis au m<sup>2</sup>, le nombre moyen de grains/épi, le poids de 1000 grains (PMG) ainsi que le rendement grain parcellaire (q/ha).

#### 1.6.1 Le nombre d'épis au m<sup>2</sup> (NE/M<sup>2</sup>) :

Le nombre d'épis au m<sup>2</sup> est déterminé par le comptage du nombre d'épis sur 1 mètre linéaire prélevés aléatoirement de chaque parcelle du bloc.

#### 1.6.2 Le nombre de grains par épi (NG/E) :

Il est obtenu par comptage direct d'un échantillon de 10 épis par génotype par parcelles.

#### 1.6.3 Le poids de mille grains :

Le PMG est déterminé par comptage et le pesage de 250 graines prises de la récolte de chaque parcelle.

### **1.6.4 Le rendement en grains (RDT) :**

Après la récolte, chaque parcelle élémentaire est pesée pour déterminer le rendement grain en gramme puis converti en q/ha.

## **2. Expérimentation 2 : détermination des critères de qualités et méthodes d'appréciation des 20 génotypes.**

### **2.1 Présentation du site d'étude :**

#### **2.1.1 Les moulins Amor Benamor :**

Cette partie du travail a été réalisée au laboratoire de contrôle de qualité des moulins Amor Benamor qui se situe à El Fedjoudj (Guelma au Nord-Est Algérien). Créé en Septembre 2000, Les moulins Amor Benamor (MAB) s'étendent sur une superficie de 42.500m<sup>2</sup>, constituent un important complexe industriel avec une capacité de stockage de 27 500 tonnes et une production journalière de plus de 700 tonnes.

En 2011 la production annuelle de 273 000 tonnes a fait des Moulins Amor Benamor un acteur incontournable dans le secteur de la transformation des produits agro-alimentaire en Algérie et au fil des ans ces derniers propose des offres variées qui répondent aux besoins de consommation du marché national : semoules et couscous, pâtes alimentaires, auxquels s'ajoute une boulangerie industrielle.

Après une certification selon la norme internationale ISO 22000, relative à la sécurité alimentaire, la filiale de transformation du blé dur de MAB envisage d'exporter ses produits en Europe (Anonyme, 2014).

### **2.2 Critères de qualités et méthodes d'appréciation :**

Ces analyses requièrent des équipements assez lourds. Elles sont le plus souvent mises en œuvre en laboratoire. Plusieurs paramètres ont été estimés :

#### **A) les paramètres relatifs aux caractéristiques physiques des grains :**

Le Poids spécifique, le Poids de mille grains et le Taux de mitadinage. Chacun de ces paramètres nécessite une méthodologie et un appareillage bien spécifique.

#### **B) les paramètres relatifs aux caractéristiques biochimiques des grains :**

Teneur en Protéines ; Teneur en eau, Teneur en amidon.

La détermination de ces paramètres a été effectuée sur le principe de la spectrométrie proche infrarouge NIRS.

**B.1. Analyse dans le proche infra rouge (NIRS) :**

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

**Principe :**

La spectrométrie dans le proche infra rouge (NIRS) est une méthode d'analyse comparative dont le principe repose sur l'absorption de la lumière proche infra rouge par la matière organique (Alava *et al.*, 2001). La technique repose sur la mesure de la réflectance d'un rayonnement émis à une longueur d'onde donnée dans le visible ou l'infrarouge, les différentes liaisons chimiques du produit testé (O-H, N-H ou C-H) l'absorbent à des longueurs d'onde spécifiques égales à leur fréquence de vibration et passent ainsi d'un état fondamental à un état excité (Frédéric *et al.*, 2013).

**C) les paramètres relatifs aux caractéristiques de la semoule de blé dur :**

Dans cette analyse les paramètres ont été estimés par rapport à une mouture intégrale de blé dur et ceci pour le taux de gluten humide, gluten sec et le gluten index.

**2.3. Les analyses technologiques :****2.3.1. Mesure de la masse volumique ou Le poids spécifique (PS) :**

La masse volumique dite masse à l'hectolitre, appelée communément poids spécifique (PS), est la masse d'un hectolitre de grains exprimée en kilogrammes. (NF V 03-707 et ISO 712). Elle est considérée comme un indicateur de la valeur semoulière en relation avec le rapport enveloppe sur amande. Plus le poids à l'hectolitre est élevé, plus le rapport enveloppes sur amande est faible et le rendement semoulier important. La valeur minimale pour la mise à l'intervention est de 78 kg/hl.

**Intérêt :**

Le poids spécifique présente un intérêt commercial; la masse volumique est toujours prise en compte dans les contrats commerciaux et dans les transactions.

**Principe :**

La masse à l'hectolitre est calculée à partir de la masse de 50 litre (trémie conique) ou d'un litre (Niléma-litre) pour les blés durs, sur un échantillon débarrassé manuellement des grosses impuretés. (I.T.C.F., 2001).

**Appareillage :** Le Niléma litre ; un tamis et le diviseur conique ou à fentes multiples.

### 2.3.2. Poids de mille grains(PMG) :

C'est une des composantes du rendement agronomique et rendement semoulier. Cette mesure est surtout effectuée lors de la sélection du blé dur, c'est un critère essentiellement variétal qui dépend beaucoup des conditions de cultures qui l'influencent de façon très significative.

Le poids de mille grains permet de déterminer le poids moyen des grains en pesant mille graines. C'est la masse de 1000 grains entiers exprimée en gramme (M.S.D.A., 2004).

#### **Principe :**

Le principe de la méthode repose sur le comptage automatique ou manuel du nombre de grains entiers contenus dans une prise de masse connue. La détermination de la masse de 1000 grain est basée sur le comptage des grains d'une prise d'essai de 30g après élimination des impuretés et de grains cassés. La différence entre les résultats de deux essais ne doit pas dépasser 6% pour les grains ayant une masse supérieure à 25 grammes pour 1000 grains (I.T.C.F., 2001).

**Appareillage :** Balance de précision 0.01g près et une pince.

### 2.3. 3. Détermination du taux de mitadinage :

Le taux de mitadinage est le pourcentage en nombre de grains de blé dur non entièrement vitreux (C.T.P.S et G.E.V.S., 2006), Selon le règlement communautaire n° 824/2000 du 19 avril 2000, un grain mitadiné est "un grain dont l'amande ne peut être considérée comme pleinement vitreuse".(I.T.C.F., 2001).

Un grain mitadiné présente à la coupe une ou plusieurs plages farineuses et a tendance, lors de la mouture, à se désagréger en farine et non à éclater en semoule, provoquant une diminution du rendement semoulier.

Le mitadinage est un accident physiologique fréquent qui se traduit par un changement de texture de l'albumen du grain, dépendant à la fois de la quantité d'azote présent dans le grain, un manque d'azote au stade gonflement, et des conditions de récolte. En outre, un grain mur subissant des pluies peu avant le récolte ne se rétracte pas en totalité lors de la dessiccation et les interstices restant entre cellules ne réfléchissent pas la lumière de la même façon, le grain apparait alors comme farineux. Néanmoins, plus la teneur en protéines totales d'un lot de grains est élevée, moins le mitadinage est important.

#### **Intérêt :**

L'objectif du semoulier est de fabriquer de la semoule et non de la farine, le blé dur doit donc être peu mitadiné. Si le taux de mitadinage est trop élevé, le rendement semoulier

chute. La qualité commerciale type indique que moins de 20 % des grains peuvent être mitadinés, au-delà de 40 %, le blé dur est vendu au prix du blé tendre.

**Le principe :**

Le taux de mitadinage (exprimé en %) indique le nombre de grains partiellement ou totalement farineux dans un lot de grains. La détermination du taux de mitadinage s'effectue à l'aide d'un farinotome de POHL dont l'utilisation est imposée selon le règlement n° 824/2000 (I.T.C.F., 2001). Sa détermination est faite sur 300 grains en raison de 6 plaques pour chaque génotype.

**Appareillage :** Farinotome de Pohl, avec ses plaques menées de 50 alvéoles ; une balance analytique à 0.1 mg près. Une plaque de farinotome permet de couper 50 grains ; On donne à chaque grain un degré selon le mitadinage (0.25, 0.50, 0.75, 1) et on calcule la somme des degrés et exprimer en pourcentage par rapport à 100 (Afnor, 1982).

$$M*(100-1)/100$$

Le taux de vitrosité peut être calculé selon:

$$V= 100-M$$

**2.3.4. Teneur de protéines :**

La détermination de la teneur en protéines des grains à été effectuée sur le principe de spectrométrie proche infrarouge comme cité précédemment.

**Intérêt :**

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

**Le principe :**

La teneur en protéine totale a été déterminée par l'Infratec 1241(appareil utilisant le proche infrarouge).l'utilisation de 500 grammes de grains nettoyés pour chaque échantillon est nécessaire.

**Appareillage :** (Infratec 1241).

### **2.3.5. Teneur en Amidon :**

La détermination de la teneur en amidon des grains à été effectuée sur le principe de spectrométrie proche infrarouge comme cité précédemment.

#### **Intérêt :**

Cette analyse présente deux intérêts principaux : un intérêt nutritionnel vu que l'amidon est une source en glucide importante dans l'alimentation humaine et un intérêt réglementaire pour contrôler la pureté des amidons industriels.

#### **Principe :**

La teneur en amidon des grains a été déterminée par l'Infratec 1241 (appareil utilisant le proche infrarouge). l'utilisation de 500 grammes de grains nettoyés pour chaque échantillon est nécessaire.

**Appareillage :** (Infratec 1241).

### **2.3.6. Teneur en eau :**

L'eau est 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 du grain.

#### **Intérêt :**

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

\*Intérêt technologique : Pour la détermination de la conduite rationnelle des opérations de récolte, de séchage, de stockage ou de transformation industrielle.

\*Intérêt analytique : Pour rapporter les résultats des analyses de toute nature à une base fixe (matière sèche ou teneur en eau standards)

\*Intérêt réglementaire puisque les contrats commerciaux fixent des seuils de teneur en eau à partir desquels sont appliquées des bonifications et des réfections (ITCF & ONIC, 1995).

#### **Principe :**

La teneur en eau des grains a été déterminée par l'Infratec 1241 (appareil utilisant le proche infrarouge). l'utilisation de 500 grammes de grains nettoyés pour chaque échantillon est nécessaire.

**Appareillage :** (Infratec 1241).

### **2.3.7. Teneur en gluten humide, sec et la valeur du gluten index :**

Le blé est la seule céréale dont les protéines ont la propriété de constituer dans la pâte un réseau protéique ; le gluten, fraction insoluble des protéines (gliadines et

gluténines) dans une solution saline, est le responsable majeur de la qualité rhéologique des pâtes c'est-à-dire l'extensibilité, l'élasticité et la ténacité, qui ont une influence sur le comportement des pâtes au cours de la fabrication et sur la qualité du produit finis. (Pain, biscuit, pâte,...). La quantité de gluten est très liée à la teneur en protéines.

En Italie et en Grande Bretagne la teneur en gluten constitue le plus souvent, le seul test technologique d'appréciation de la qualité des blés durs (Ait-Slimane-Ait-Kaki, 2008).

#### **a/ le gluten humide :**

La détermination de la teneur en gluten humide se base sur l'extraction du gluten à partir d'une mouture intégrale des grains de blé dur en raison de 10 grammes pour chaque échantillon. L'extraction se fait par l'ajout d'une solution saline (4.8ml de NaCl à 2%) à la mouture du blé et par un malaxage mécanique suivit d'une lixiviation automatique grasse à un système glutomatic(le mode opératoire détaillé avec appareillage en annexe). La masse plastique issue à la fin représente le gluten humide, elle est pesée et calculée comme suit

$$\mathbf{GH\ (\%) = m * 100 / 10}$$

(GH : gluten humide ; m: masse en gramme de gluten humide), le gluten humide est exprimé en pourcentage.

**Appareillage :** Le moulin de laboratoire (LM 3100 OU LM 120) Glutomatic. Balance de précision à 0.01. Bécher de récupération de l'eau de lavage 600ml. Chambre de lavage 88um pour la farine lisse. Casette tamis Gluten Indice 88 um.

#### **b/ le gluten index :**

La détermination du gluten index se fait par centrifugation (à 6000 Tr/min) de la masse de gluten humide mise dans une cassette à tamis spécialement conçue.

La partie du gluten restant sur la filière (gluten résiduel) est ensuite retirée et peser avec la partie ayant traversé la filière de façon à connaître le poids total de gluten (gluten humide). Ainsi l'Indice de Gluten ou le Gluten Index est la quantité de gluten résiduel par rapport au poids total du gluten humide en pourcent.

$$\mathbf{GI\ (\%) = Gr / GH * 100}$$

(GI : gluten index ; Gr : gluten résiduel en grammes(g) et GH : gluten humide en grammes). (ICC /n° 137/1 ; ISO21415-2).

**Appareillage :** Centrifugeuse à vitesse de rotation fixée avec précision (Gluten Index centrifuge 2015).

**c/ le gluten sec**

La détermination du gluten sec se fait par séchage de la totalité du gluten humide.

La masse du gluten humide est mise 4min dans une plaque chauffante à 150°C. Après séchage on pèse le gluten. Le gluten sec est calculé comme suit et donné en pourcent :

$$\text{GS(\%)} = m * 10 / 100$$

(GH : gluten sec ; m : est la masse en gramme du gluten sec).

**Appareillage :** Glutork 2020. Plaque chauffante.

**3 Analyses des données****3.1 Analyse de la variance :**

Les données collectées ont été soumises à une analyse de la variance par le logiciel CoStat V-6.1, selon un plan en bloc aléatoire complet à deux facteurs pour l'expérimentation1 et un plan aléatoire complet à randomisation totale avec deux facteurs pour l'expérimentation2.

**3.2 Analyse des corrélations :**

La matrice de corrélation a été établie à l'aide d'un logiciel Statisticat 7 pour l'ensemble des paramètres mesurés (expérimentation1 et expérimentation2).

**3.3 Analyse en composantes principales (ACP) :**

L'ACP a été établie à l'aide d'un logiciel Statisticat 7 pour l'ensemble des paramètres mesurés (expérimentation1 et expérimentation2).

**3.4 Analyse hiérarchique :**

La classification hiérarchique a été établie à l'aide d'un logiciel Statisticat 7 pour l'ensemble des paramètres mesurés (expérimentation1 et expérimentation2).

## **RESULTATS ET DISCUSSION**

### Chapitre III : Résultats et Discussion

#### I. Conditions climatiques :

##### A/ La première année d'étude 2012/2013 :

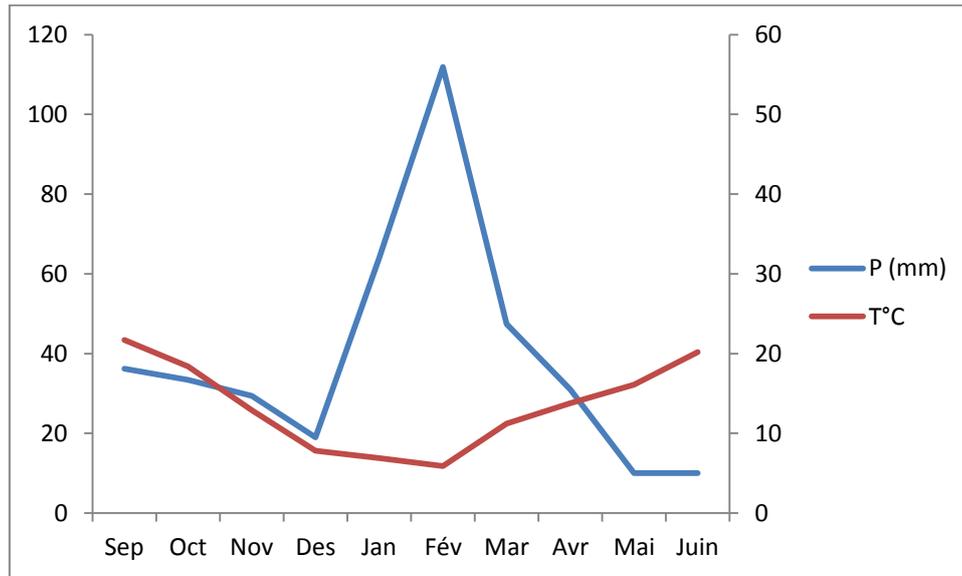
Cette campagne a été nettement inférieure en quantité pluviométrique cumulée (392,3 mm) par rapport à la moyenne sur 25 ans établie par les services de l'office nationale de la météorologie (487,3mm), soit un écart négatif de 95mm.

En valeur absolue on note un net déficit de la pluviométrie des mois de septembre à fin décembre 2012 comparativement à la moyenne normale de l'O.N.M (l'office nationale de la météorologie) (moyenne sur 25 ans) soit 193,9mm par rapport à 118 mm (tableau III.a et figure III.a). Cet écart est négatif d'environ 76 mm ce qui laisse apparaître un début de campagne relativement sec.

Il est à signaler que le déficit en novembre a été de 15.2mm mais en décembre il a été beaucoup plus important (-54.2mm) et ce manque d'eau au moment où la plante en a le plus besoin pour démarrer le processus de germination et de levée a été très ressenti. A partir de janvier 2013 on constate un léger retour de la pluviométrie à la normale avec même un excédent de 58,1 mm en février ; par la suite on a connu des déficits mensuels cumulés de mars à juin de 78,4mm c'est-à-dire durant la période du plateau hydrique où les besoins des plantes sont au maximum, ce qui a sérieusement affecté le potentiel de production des céréales cultivées.

**Tableau III.a : Conditions climatiques de la campagne 2012/2013 à Elkhroub.**

Mois	Sep	Oct	Nov	Dec	Janv	Fev	Mars	Avr	Mai	Juin	Cumul (mm)
<b>Pluvio</b>	36,2	33,4	29,4	19	64	111,9	47,4	31	10	10	<b>392,3</b>
<b>Pluvio de 25ans</b>	37,5	38,6	44,6	73,2	62,8	53,8	56,2	59	42,3	19,3	<b>487,3</b>
<b>Ecart</b>	<b>-1,3</b>	<b>-5,2</b>	<b>-15,2</b>	<b>-54,2</b>	<b>+1,2</b>	<b>+58,1</b>	<b>-8,8</b>	<b>-28</b>	<b>-32,3</b>	<b>-9,3</b>	<b>-95</b>
<b>°c Moy</b>	21,7	20,3	10,6	7,3	8,2	9,3	8,5	13,5	16,7	22,3	
<b>°Cmax</b>	30,2	27,7	15,3	12,5	13,6	15,7	13,6	21	24,8	30,7	
<b>°Cmin</b>	15,2	12,9	5,9	2,2	2,9	2,5	3,5	5,9	8,7	14	



**Figure III.a : Diagramme Ombrothermique de la campagne 2012-2013.**

L'étude du diagramme ombrothermique pour la période 2012/2013 (de septembre à juin) (figure III.a) indique que la campagne se caractérise par la présence de deux périodes de sécheresse. La première est localisée en sep-octobre et la deuxième allant du mois d'avril à juin, et une période humide allant de novembre à la mi-avril.

#### **B/ La deuxième année d'étude 2013/2014 :**

Si l'on considère le total pluviométrique cumulé durant cette campagne 2013/2014, on pourra conclure que l'année a été au dessus de la moyenne enregistrée sur les 25ans par l'ONM (office national de la météorologie) (Tableau III.b), mais en réalité on observe qu'il y avait une pluviométrie anormale lors du mois de mars où 167,4mm sont tombés pendant 18 jours soit 111,2mm de plus que la moyenne normale sur 25ans; on notera aussi que même le mois de novembre a été pluvieux car il est tombé en 16 jours 98,1mm alors que la moyenne normale ONM est de 44,6mm seulement. Les précipitations ont été inférieures à la moyenne ONM sur presque la totalité des autres mois de l'année.

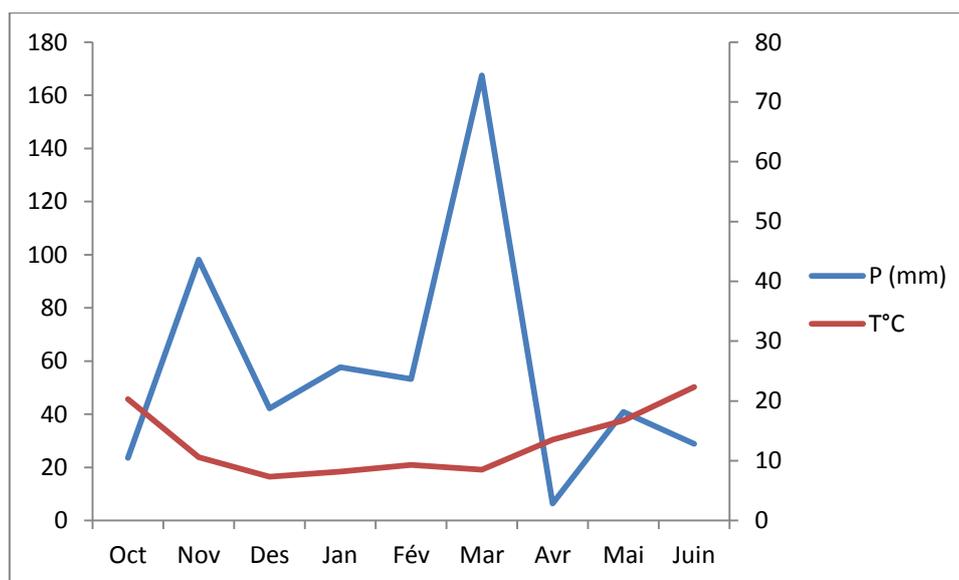
Le déficit le plus influant se situe au niveau des mois d'avril et mai où les plantes se trouvent dans la période du pallier hydrique, période la plus cruciale pour la construction du rendement grain.

A ce déficit, on remarque que les courbes des températures moyennes et maximales sont ascendantes à partir d'avril et un peu plus élevées que les températures saisonnières, par conséquent les réserves en eau du sol cumulées en mars n'ont pu suffire pour booster le

bon développement des plantes. Les pluies orageuses et tardives de juin ont été bénéfiques aux variétés tardives.

**Tableau III.b : conditions climatiques de la campagne 2013/2014 à Elkhroub.**

Mois	Oct	Nov	Dec	Janv	Fev	Mars	Avr	Mai	Juin	Cumul (mm)
Pluvio	23,6	98,1	42,2	57,7	53,2	167,4	6,4	40,9	28,9	518,4
Jours	6	16	9	13	14	18	4	8	4	92
Pluvio 25ans	38,6	44,6	73,2	62,8	53,8	56,2	59	42,3	19,3	449,8
°c Moy	20,3	10,6	7,3	8,2	9,3	8,5	13,5	16,7	22,3	
°Cmax	27,7	15,3	12,5	13,6	15,7	13,6	21	24,8	30,7	
°Cmin	12,9	5,9	2,2	2,9	2,5	3,5	5,9	8,7	14	



**Figure III.b : Diagramme Ombrothermique de la campagne 2013-2014.**

Concernant la campagne 2013/2014, l'étude du diagramme ombrothermique de la période d'octobre à juin, indique que la campagne se caractérise par la présence de trois périodes de sécheresse. La première est localisée en octobre, la deuxième en mois d'avril et la troisième allant de la fin mai à juin, et une période humide allant de novembre à la mi-avril.

## II. Evaluation du comportement variétal des 20 géotypes de blé dur au cours des deux années d'essai.

### 1. Les paramètres agronomiques : le rendement grain et ses composantes:

L'analyse de la variance combinée du rendement et des composantes du rendement mesurés au cours des deux campagnes (Tableau.III.1) indique un effet génotypique très hautement significatif pour tous les paramètres mesurés à savoir le rendement grain (RDT), le poids de mille grains (PMG), le nombre d'épis par mètre carré (NE/M<sup>2</sup>) et le nombre de grains par épi (NG/E). Par contre on remarque que l'effet année n'est pas significatif pour le nombre d'épis/m<sup>2</sup>. L'effet de l'interaction géotypes année (GxA) n'est pas significatif pour le rendement grain et le nombre de grains par épi, cela nous laisse à dire que, pour ces deux paramètres, les variétés se comportent entre elles de la même manière quelque soit les conditions de l'année d'essai.

**Tableau III.1** : Carrés moyens de l'analyse de la variance du rendement et ses composantes.

S. V.	Carré moyen				
	ddl	RDT	PMG	NE/M <sup>2</sup>	NG/E
<b>bloc</b>	3	122.7191**	33.380229**	287.34167	96.716667ns
<b>Année</b>	1	229.08189**	319.50756***	16892.1ns	540.225***
<b>Géotype</b>	19	127.75004***	26.590457***	2265.7039***	124.79474***
<b>Géotype x année</b>	19	27.808437 ns	20.065063***	312.57368***	57.040789ns
<b>erreur</b>	120	24.04537	7.5472804	363.8203ns	47.024359
<b>CV(%)</b>	/	15.001908	7.4499928	6.8534737	15.701044

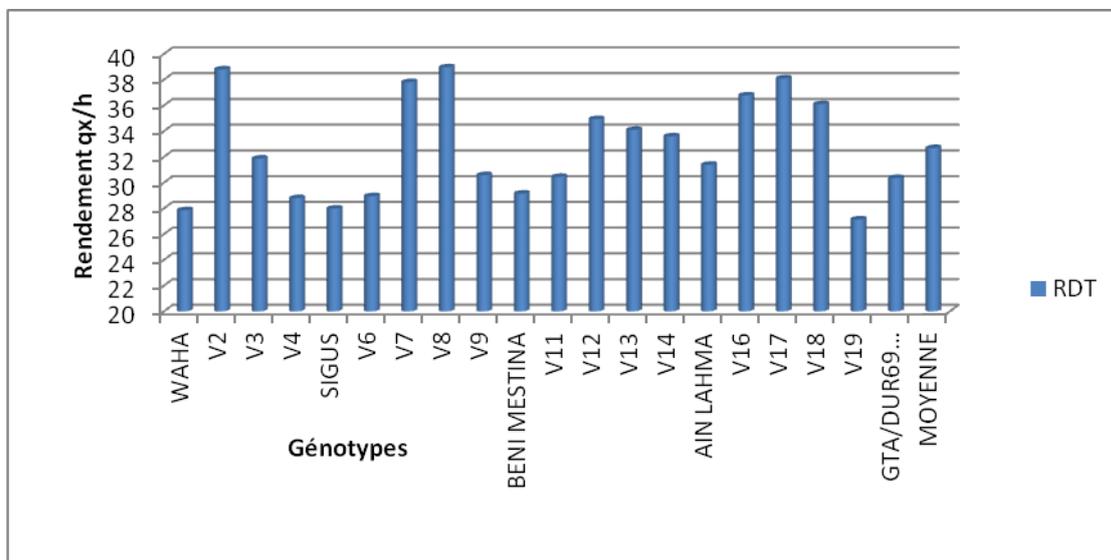
\* p<0.05 : significatif ; \*\* p<0.01 très significatif ; \*\*\* p<0.001 très hautement significatif

Pour les deux paramètres restants (PMG et NG/M<sup>2</sup>), l'effet de l'interaction GxA est très hautement significatif. Cela veut dire que le comportement des différents géotypes pour le PMG et NG/M<sup>2</sup> est influencé par les conditions climatiques et de sol durant chaque année.

#### 1.1 Le rendement grain (RDT) :

L'analyse de la variance montre qu'il n'y a pas d'effet d'interaction GxA pour le rendement ; pour cela l'évaluation du comportement des géotypes va être analysé sur le plan combiné des deux années. L'effet géotypes et l'effet année sont très hautement significatif et significatif respectivement pour ce paramètre.

Pour l'ensemble des génotypes on remarque selon le test PPDS que la deuxième année était légèrement meilleure que la première année avec des RDTs moyens de 33.8qx/h et 31.49qx/h respectivement pour la deuxième et la première année (Figure III.1).



**Figure III.1 : Variabilité moyenne du rendement en grain des différents génotypes testés.**

Les deux années d'essai d'expérimentation sont caractérisées par une bonne productivité vu le taux de RDT moyen obtenu de 32.7q/ha. Les lignées avancées V8 et V2 dépassent de loin cette moyenne et forment deux groupes distincts (a) et (b) qui se trouvent en haut du classement et donnent les meilleurs rendements avec 39.0q/ha et 38.8q/ha en moyenne ; Alors que les plus faibles rendements sont de 28.0q/ha, 27.9q/ha et 27.1q/ha en moyenne, pour les variétés Sigus et Waha et pour la lignée V19 respectivement. Ces génotypes forment un groupe homogène (g) se trouvant en bas du classement du test PPDS. Ce groupe contient deux variétés améliorées Waha et Sigus. Pour les autres génotypes les fluctuations du rendement variaient entre 37.8q/ha et 28.8q/ha (Tableau.III.4).

### 1.2 Le nombre d'épis mètre carré (NE/M<sup>2</sup>) :

Pour ce paramètre, on constate un effet génotype très hautement significatif mais l'effet année n'a pas été significatif. Quant à l'effet interaction il est très hautement significatif (Tableau III.1). Ces résultats suggèrent que les différences pour cette variable mesurée, entre les différentes variétés évaluées, sont plus d'origines génétiques qu'environnementales.

Tableau III.4 : les valeurs moyennes (des deux Années d'études) de tous les paramètres mesuré pour les 20 géotypes.

Géotypes	RDT	PMG	NE/m <sup>2</sup>	NG/E	PS	Prot	humidité	mitadinage	Amidon	Glut hum	Glut sec	Glut Index
<b>WAHA</b>	27,86	37,18	299,13	34,50	80,67	12,42	11,20	22,00	65,23	33,93	11,91	45,67
<b>V2</b>	38,80	37,86	271,50	40,50	81,80	11,60	11,23	10,81	65,38	21,19	7,64	97,99
<b>V3</b>	31,88	38,43	288,75	41,00	81,90	11,47	11,12	18,86	66,33	19,33	7,02	97,65
<b>V4</b>	28,80	35,05	282,63	42,50	82,17	11,47	11,17	16,43	66,55	20,80	7,37	98,82
<b>SIGUS</b>	27,99	39,25	285,00	47,63	82,63	11,82	11,18	13,01	64,90	30,77	10,42	64,40
<b>V6</b>	28,95	36,38	268,75	41,75	80,81	11,50	11,12	16,67	65,97	25,07	8,68	92,99
<b>V7</b>	37,81	35,54	292,88	48,38	81,88	11,52	11,07	15,76	66,88	25,78	8,87	88,00
<b>V8</b>	38,96	34,44	285,63	41,25	82,23	11,03	10,95	17,89	65,55	24,48	8,40	91,96
<b>V9</b>	30,59	36,29	286,75	42,63	81,45	11,72	10,95	19,84	66,80	27,68	9,50	80,56
<b>BENI MESTINA</b>	29,15	40,11	317,25	43,25	83,27	12,93	11,00	6,69	63,78	31,98	11,39	26,29
<b>V11</b>	30,45	32,10	275,38	46,63	81,65	12,50	11,13	11,99	65,55	28,46	10,05	95,46
<b>V12</b>	34,94	37,56	282,63	42,88	81,45	12,67	11,00	9,21	63,80	30,14	10,51	88,45
<b>V13</b>	34,10	37,05	269,63	46,13	82,32	11,47	10,93	11,57	64,72	27,57	10,89	86,64
<b>V14</b>	33,60	36,55	276,63	48,75	81,70	11,48	11,07	13,97	65,53	22,29	7,94	97,60
<b>AIN LAHMA</b>	31,39	38,44	283,00	47,00	82,68	12,12	11,23	19,21	65,32	29,56	10,42	39,39
<b>V16</b>	36,78	37,43	280,63	37,88	81,28	12,08	11,13	9,33	64,72	30,34	10,30	78,31
<b>V17</b>	38,09	38,70	240,88	42,25	83,58	10,97	11,15	21,16	66,77	26,41	8,81	83,44
<b>V18</b>	36,10	35,43	247,75	45,50	82,70	12,27	11,08	12,75	65,02	28,81	10,12	94,22
<b>V19</b>	27,14	37,28	265,13	42,25	82,77	11,58	11,17	22,89	65,83	21,75	7,78	94,01
<b>GTA/DUR69...</b>	30,36	36,48	266,38	50,88	81,34	11,77	11,28	17,30	70,00	35,59	11,65	62,88

RDT : rendement, NE/m<sup>2</sup> : nombre d'épi par mètre carré, NG/E : nombre de grains par épi, PMG : poids de mille grains, Ps : poids spécifique, Prot : protéines grains, Glut Hum : gluten humide, Glut Sec : gluten sec.

Les valeurs moyennes les plus élevées pour le nombre d'épi par m<sup>2</sup> émises par unité de surface ensemencée sont notées chez Beni-mestina et Waha avec respectivement 317.25 et 299.125 épi /m<sup>2</sup>. Les valeurs, significativement plus faibles et variant de 247.75 à 240.875 épi /m<sup>2</sup>, sont observées chez les lignées avancées V18 et V17(Figure.III.2).

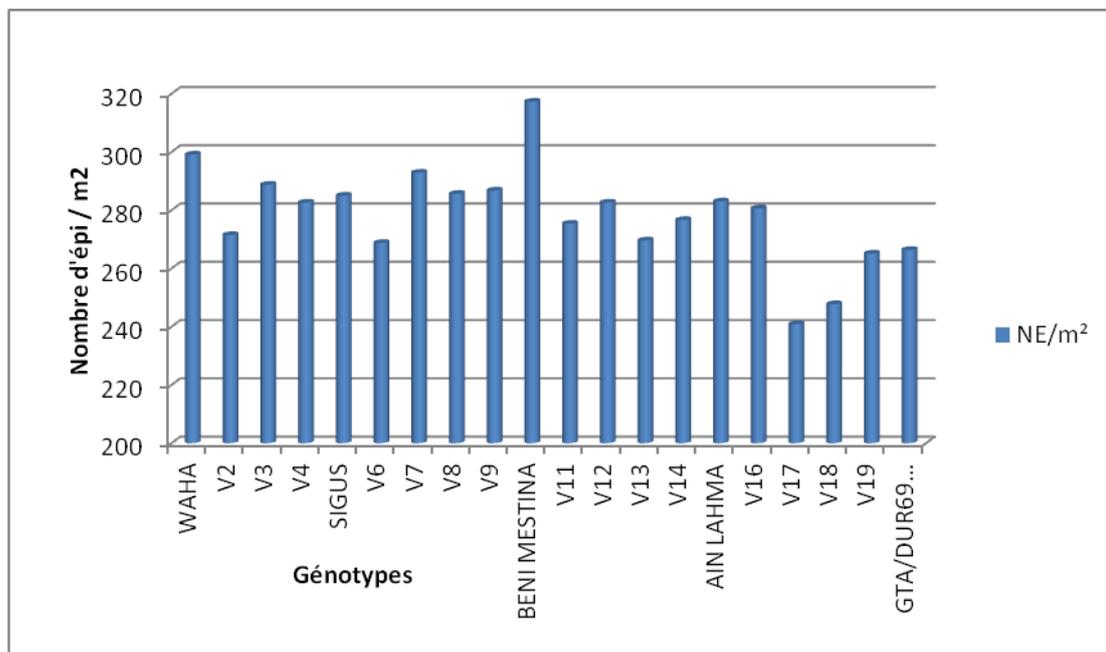


Figure III.2 : Variabilité des moyennes du nombre épi/ m<sup>2</sup> des variés étudiées.

### 1.3 Le nombre de grains par épi (NG/E) :

La valeur moyenne atteinte par l'ensemble des génotypes est de 43.8 grains /épi qui représente une très bonne fertilité avec une valeur maximale de 50.9 grains/épi en moyenne donnée par la variété Gta/Dur69 et une valeur minimale de 34.5 grains/épi en moyenne pour par la variété Waha (Figure.III.3) qui représente aussi une bonne fertilité donc on peut dire que dans l'ensemble les variétés étudiées se comportent favorablement en ce qui concerne le nombre de grains par épi (NG/E).

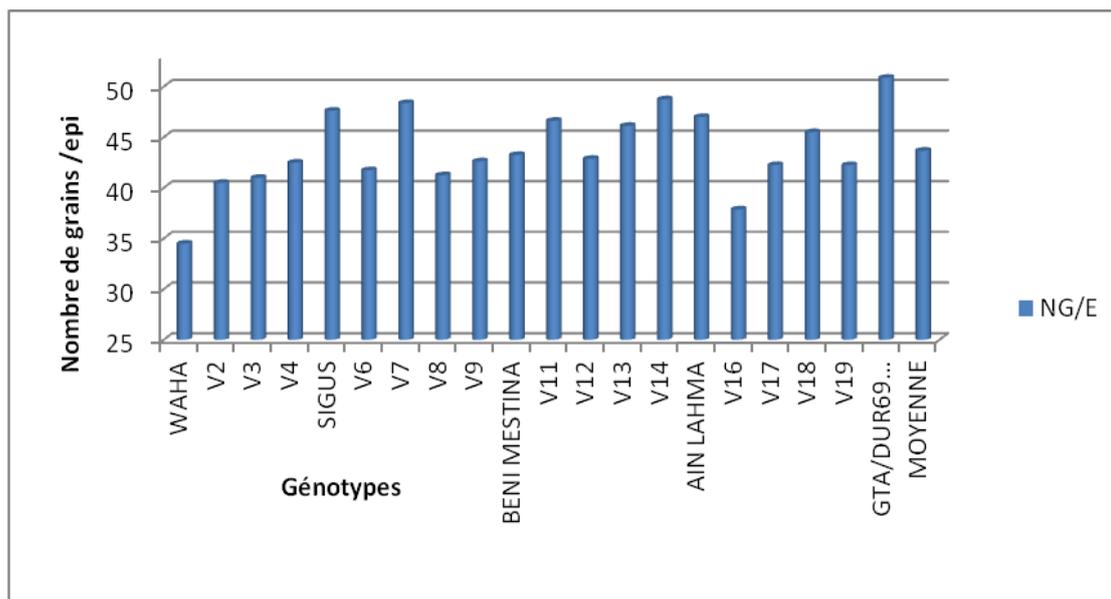


Figure III.3 : La variabilité des moyennes du nombre de grains par épi.

#### 1.4 Le poids de 1000 grains :

Le poids de mille grains est généralement peu maîtrisable, car il est fortement lié aux effets de l’environnement au moment de la formation et du remplissage du grain. Un manque d’eau après la floraison combiné aux températures élevées (conditions fréquentes en Algérie) entraîne une diminution du poids de 1000 grains par altération de la vitesse et/ou de la durée de remplissage, ce qui se traduit par l’échaudage des grains (Zouaoui, 1993 ; Chaker, 2003).

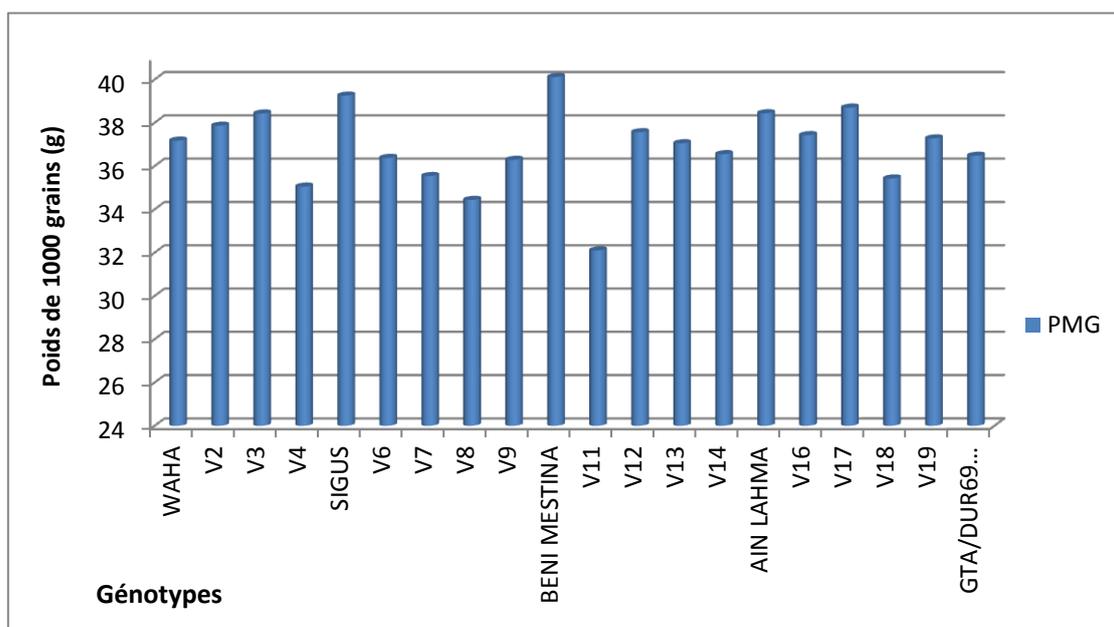
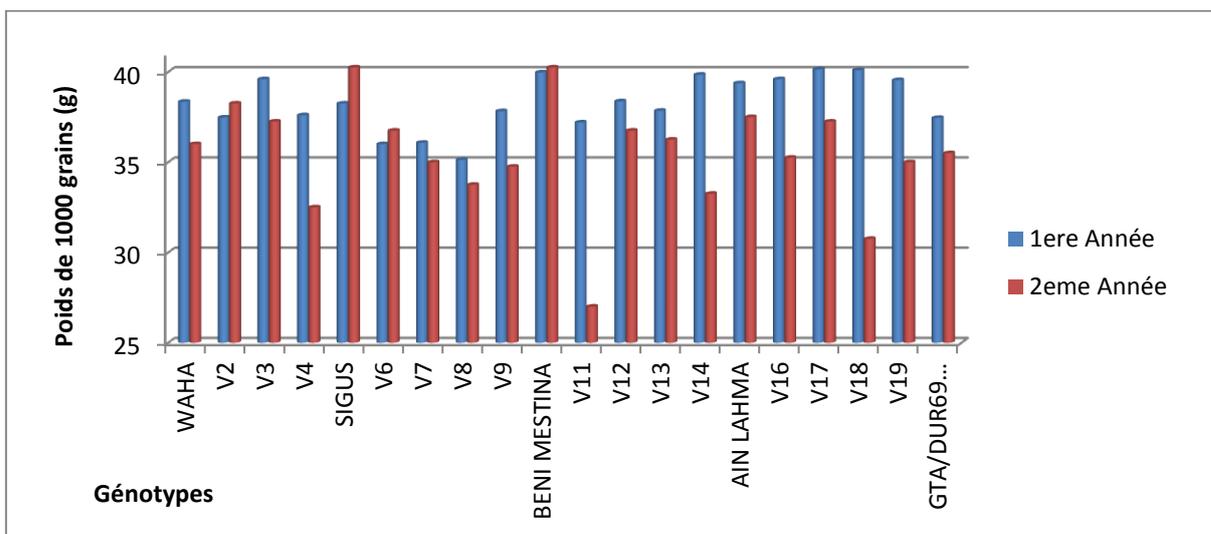


Figure III.4 : La variabilité des moyennes du poids de mille grains.

En effet l'analyse de la variance, montre que les différences entre années et entre les génotypes sont très hautement significatives pour ce caractère ainsi que leur interaction (Figure III.5).

Les résultats de comparaison des moyennes des deux années d'étude combinés pour l'ensemble des génotypes montrent une différence significative au seuil de 5%, la valeur maximale atteinte est de 40g, 39g et de 38g en moyenne respectivement par Beni-mestina, Sigus et par un groupe homogène qui regroupe la variété Ain-lahma et les lignées avancées V17 et V3. La valeur moyenne la plus faible était de 32g enregistré par la lignée avancée V11 (Figure III.4).



**Figure III.5 : La variabilité des valeurs du poids de mille grains des deux années d'étude 2012/2013 et 2013/2014**

Au cours de la campagne 2012/2013 (première année) on retrouve la variété Beni-mestina et la lignée avancée V17 avec un poids de mille grains moyen de l'ordre de 40 g et qui surclassent le reste des variétés. Lors de la première année, la plus faible valeur enregistrée était de 35g pour la lignée V8 et de presque 27g pour la lignée V11 lors de la 2<sup>ème</sup> année. Les résultats montrent que le poids de mille grains a été assez bon pour l'ensemble des génotypes lors de la campagne 2012/2013 où les conditions climatiques étaient plus favorables.

Les variétés Sigus et Beni-mestina nouvellement sélectionnées se hissent en tête de classement avec un poids de mille grains de 40g noté au cours de la 2<sup>ème</sup> campagne 2013/2014, les fluctuations de poids de mille grains variant de 38g à 31g notées au cours de cette année par les différents génotype étudiés et une valeur minimale de 27g pour la lignée V11.

## 2. Les Paramètres mesurés au laboratoire :

### 2.1 Analyses physico-chimiques du grain :

Les paramètres physico-chimiques analysés dans notre étude sont : le poids spécifique (PS), le taux de mitadinage, la teneur en humidité et la teneur en protéines totales et l'amidon.

L'analyse de la variance des paramètres physico-chimiques a montré un effet très hautement significatifs du génotype, de l'année et de l'interaction GxA pour tous les paramètres physico-chimiques mesurés à savoir : le poids spécifique (PS), le mitadinage, le taux d'humidité, la teneur en amidon et le taux des protéines totales (tableau.III.2).

**Tableau III.2** Carrés moyens de l'analyse de la variance des paramètres physico-chimiques.

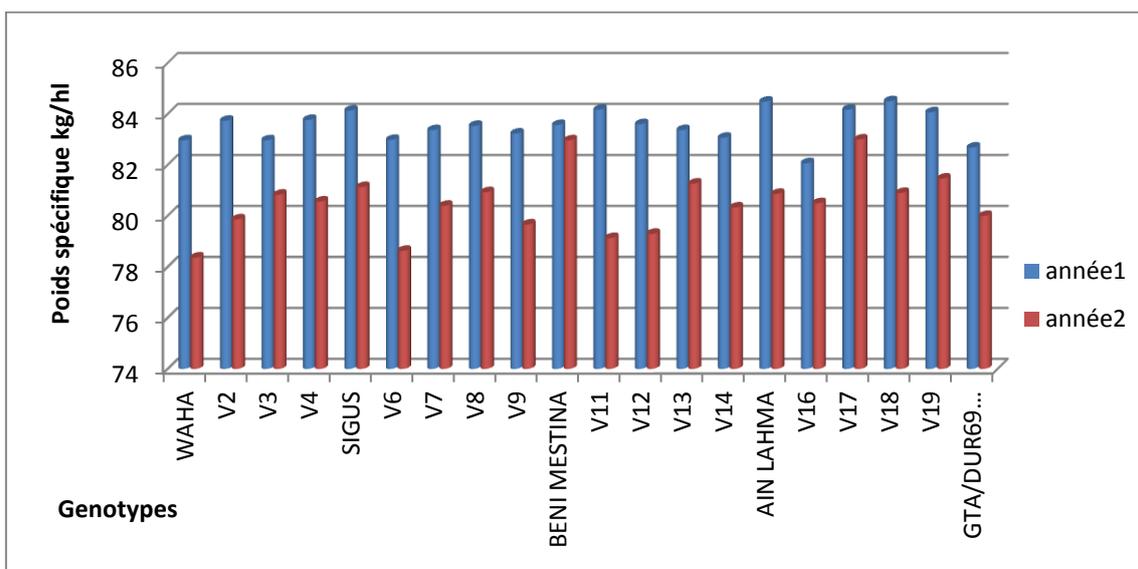
S. V.	Carré moyen					
	ddl	PS	MITADINAGE	HUM	PROT	AMIDON
Année	1	272.57***	13871.58***	1.587***	35.643***	187.00***
Génotype	19	3.553***	127.797***	0.0613158***	1.667***	10.829***
Genotype X Année	19	1.996***	125.636***	0.0182281***	1.065807***	7.062614**
erreur	80	0.018	2.372	0.0024167	0.0196667	2.7689167
CV(%)	/	0.166	10.024	0.4425471	1.1866131	2.5315138

\* p<0.05 : significatif ; \*\* p<0.01 très significatif ; \*\*\* p<0.001 très hautement significatif. PS : poids spécifique, HUM : humidité, prot : protéines.

#### A) le poids spécifique (PS) :

Le poids spécifique est largement reconnu comme facteur de classement de première importance, il demeure utile comme indice de potentiel semoulier (Dexter et Edwards, 1998).

Pour l'ensemble des variétés, l'histogramme (Figure.III.6) et l'analyse de la variance (Tableau.III.2) montrent bien une variation pour le comportement des variétés entre elles et au cours des deux années d'étude et confirment l'effet de l'interaction GxA. Les valeurs du poids spécifique varient entre 84.5 et 82 kg/hl pour la première année et de 83 et 78 kg/hl pour la deuxième année. Ce qui donne une grande variabilité pour la qualité semoulière.



**Figure. III.6 : Variabilité du poids spécifique des deux années d'étude 2012/2013 et 2013/2014.**

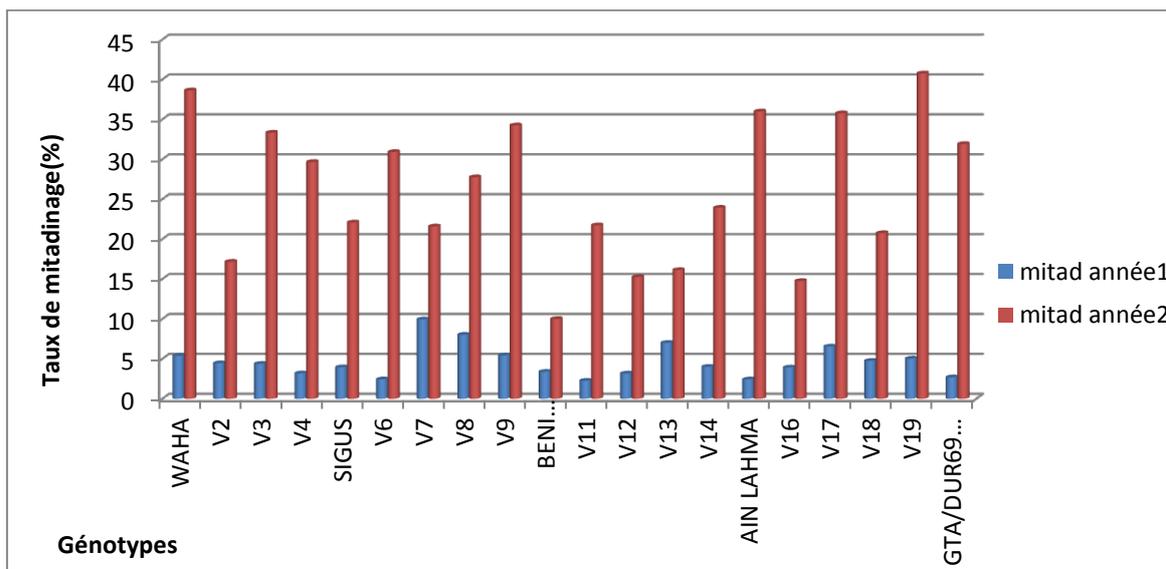
L'écart entre les PS moyens des grains issus des deux campagnes est de 3.17 % en faveur de la première année de récolte. En effet, les PS moyens étaient de 83.5 et 80.5 kg/hl pour la première année et la deuxième année respectivement. D'après les textes réglementaires, le blé dur est considéré non commercialisable si le PS est inférieur à 76.5 kg/hl. Compte tenu de ce qui précède, nous constatons que les PS de la totalité des échantillons issus des deux années répondent à cette exigence. La variété Beni-mestina et la lignée V17 semblent être les plus stables pour le PS.

### **B) le taux de mitadinage :**

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

La distribution est très variable pour le taux de mitadinage, le taux le plus bas pour les deux campagnes est représenté par la variété Beni-mestina avec un taux moyen de 6.6%, suivie de V12 et V16 dont la différence n'est pas significative avec un taux moyen inférieur à 10% ce qui est considéré très correct.

Par contre pour les taux les plus élevés sont ceux de Waha et V19 avec un taux de presque 23% (Figure III.7).

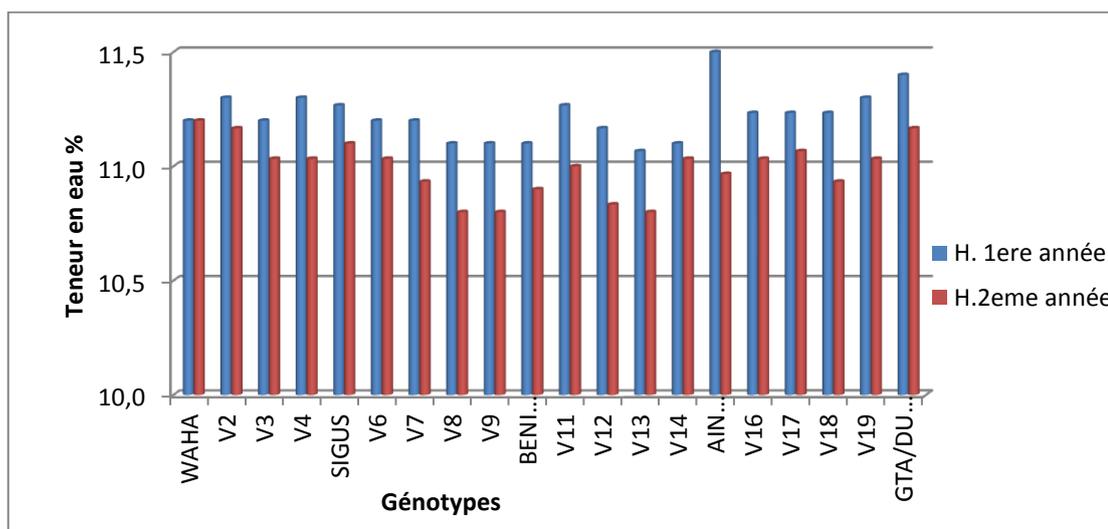


**Figure III.7 : La variabilité du taux de mitadinage des deux années d'étude 2012/2013 et 2013/2014.**

Les résultats trouvés par l'ANOVA plus haut, ne font que confirmer les observations faites précédemment. Il existe des différences très hautement significatives pour le taux de mitadinage entre les 20 génotypes de blé dur sur deux années. C'est à dire que les variétés ne sont pas mitadinées de la même façon et la majorité des variétés ne présente pas de stabilité pour ce critère. Etant donné que le mitadinage est un accident physiologique, qui dépend du milieu, les différences qui peuvent exister entre les variétés seront grandes et dépendante des conditions environnementales comme pour le poids de mille grains.

### C) Humidité des grains :

Les différentes valeurs d'humidité enregistrées sont presque semblables ; les variétés ont un pourcentage d'humidité compris entre 11.5 et 11% pour la première année, et entre 11.2 et 10.8% pour la deuxième année (Figure III.8). Ces valeurs 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.

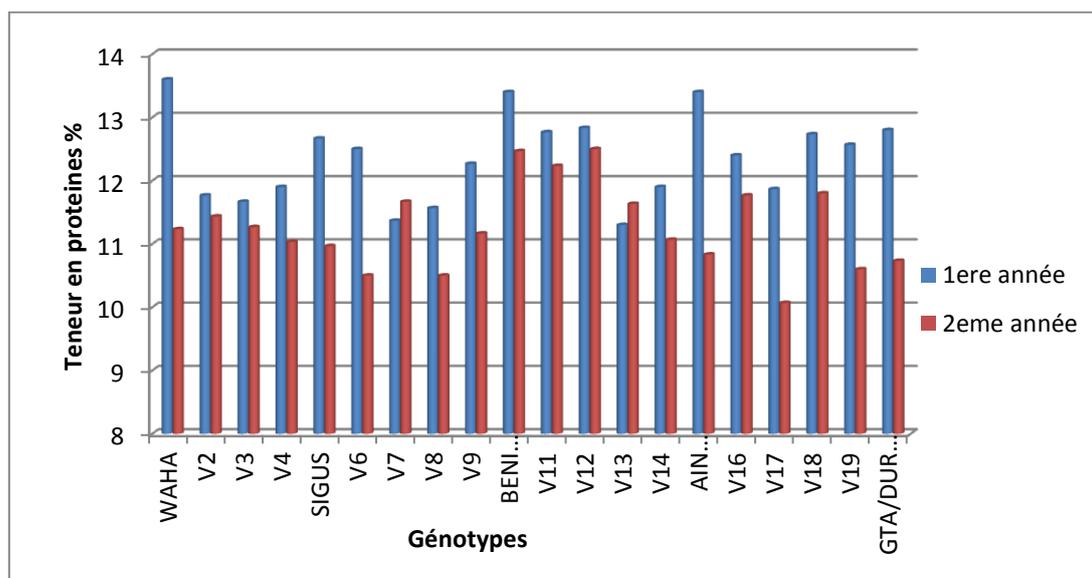


**Figure III.8 : La variabilité des valeurs de l'humidité des grains des deux années d'étude 2012/2013 et 2013/2014.**

#### **D) Taux de Protéines des grains :**

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

Puisque nos 20 génotypes ont été cultivés sous les mêmes conditions (durant la même année), les variations enregistrées sont beaucoup plus dues à l'effet génotype. Sur la figure III.9 on observe une variation de la teneur en protéines allant de 11,3% pour la lignée V13 (2012/2013) à 13,6 % pour Waha (2012/2013). Les variétés Benimestina et Ain-lehma ont aussi des teneurs élevées de l'ordre de 13,4%. Pour la campagne 2013/2014 la teneur en protéine pour l'ensemble des génotypes était plus faible que celle de la campagne précédente, avec une teneur maximale de 12,5% noté chez la variété Benimestina et la lignée V12 et une teneur minimale de 10% pour la lignée V17.



**Figure III.9 : La variabilité du taux de protéines des grains des deux années d'étude 2012/2013 et 2013/2014.**

Nous remarquons que la variété Beni-mestina et les lignée V11 et V12 renferment les teneurs les plus stables et les plus élevées, alors que les variétés Waha Sigus, Ain lehma et GTA/Dur69 présentent des taux très instables d'une année à l'autre (Figure III.9).

## 2.2 Analyse de qualité technologique :

### A) Taux de gluten (sec et humide) :

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

**Tableau III.3** Carrés moyens de l'analyse de la variance du taux de gluten humide et sec et du gluten index.

S. V.	Carré Moyen			
	ddl	Glut Hum	Glut Sec	Glut Index
Année	1	61.795406***	18.886887***	48.806434**
Génotypes	19	122.18186***	13.34001***	2744.363***
Génotypes X Année	19	43.474229***	3.0843518***	300.46701***
Erreur	80	0.2080872	0.0394972	5.1570227
CV(%)	/	1.6835	2.0956461	2.8302783

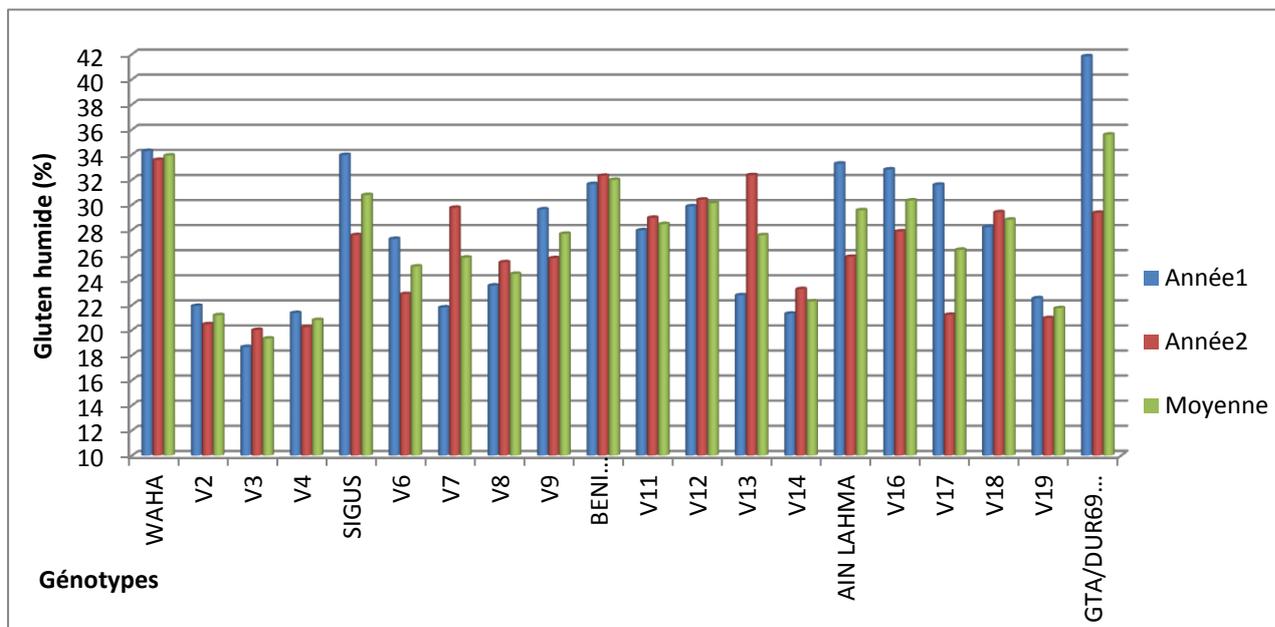
\*  $p < 0.05$  : significatif ; \*\*  $p < 0.01$  très significatif ; \*\*\*  $p < 0.001$  très hautement significatif.

Glut Hum : Gluten Humide, Glut Sec : Gluten Sec ; Glut Index : Gluten Index.

Le gluten est composé principalement de deux groupes protéiques de réserve : les gliadines et les gluténines (Bushuk, 1986). Perten (1989) considère généralement que

l'élasticité de la pâte est due aux gliadines et que sa ténacité dépend plutôt des gluténines. En effet, les protéines du gluten, grâce à leurs structures spiralées et élastiques, apportent aux produits de boulangerie du moelleux et une excellente cuisson.

L'analyse de la variance du taux de gluten humide et sec a montré un effet très hautement significatif pour le facteur génotype et le facteur année ainsi que pour leur interaction. Ce qui explique la grande variabilité des taux de gluten humide enregistré pour l'ensemble des génotypes (Tableau III.3).



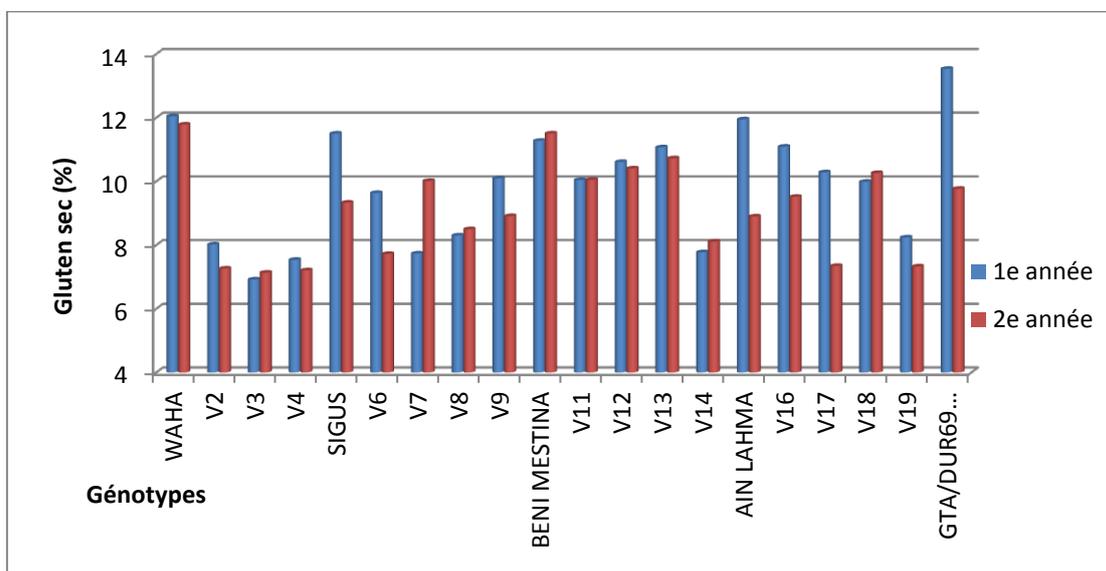
**Figure III.10 : La variabilité des valeurs du gluten humide des deux années d'étude 2012/2013 et 2013/2014.**

GTA/Dur69, Waha, Benimestina, Sigus et Ainalhma les variétés nouvelles se retrouvent toutes en tête du classement pour la teneur en gluten humide avec deux autres lignées V16 et V12 (Figure III.10).

Il apparaît clairement de la comparaison de moyenne des teneurs en gluten humide des grains issus des deux campagnes que Waha et Beni-mestina présentent les tenures les plus stables et les plus élevées de 34% et 32% respectivement. Malgré que la variété GTA/dur69 représente la teneur moyenne la plus élevée de 35.6% et avec une teneur maximale de 41.8% dépassant de loin toutes les autres variétés et lignées, elle reste quand même la variété la moins stable pour ce paramètre avec des valeurs de (42% et 29.35%) (Figure III.10).

Les variations des teneurs en gluten humide notées au cours des deux années d'études étaient entre 35.6% et 19.33%. Les lignées avancées V11 et V12 présentent une

teneur en gluten humide moyenne, mais qui reste stable au niveau des deux campagnes (Tableau III.4).



**Figure III.11 : La variabilité des valeurs du gluten sec des deux années d'étude 2012/2013 et 2013/2014.**

On remarque que la distribution des histogrammes du gluten sec (Figure III.11) est pratiquement la même que celle du gluten humide (Figure III.10) ce qui confirme la fiabilité des résultats. Cette similarité nous mène à dire que les 20 génotypes ont une capacité d'hydratation du gluten qui est similaire également. Les variations des teneurs en gluten sec varient de 11.91% et 7% pour Waha et V7.

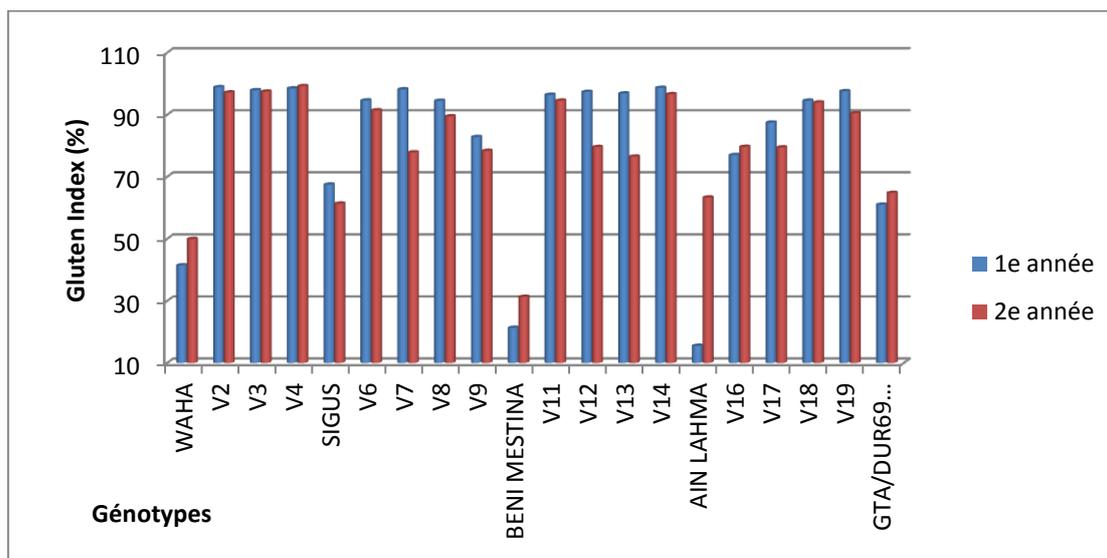
Matweef (1966) classe les blés selon leurs pourcentage en gluten dont :

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

Parmi nos génotypes sept d'entre eux ont une bonne valeur pastière avec un pourcentage de 13.5, 12, 11.95, 11.27, 11.09 et 11.07% respectivement pour GTA/Dur69, Waha, Aïn lehma, Sigus, Beni mestina, V16 et V13, toutes les lignées restantes sont en dessous de 11% . Ces teneurs sont notées au cours de la première année d'étude (2012/2013).

Pour la deuxième année d'étude on ne retrouve que Waha et Beni-mestina, avec 11.75% et 11.5% des valeurs équivalentes à une bonne valeur pastière.

## B) gluten index :



**Figure III.12 : La variabilité des valeurs du gluten index des deux années d'étude 2012/2013 et 2013/2014.**

Toutes les lignées avancées représentent une très bonne qualité technologique avec des valeurs moyennes supérieures à 78% (V16) arrivant jusqu'à 98.82% (V4) du taux de gluten index. Beni-mestina avec une valeur moyenne de 26.3% représente la teneur la plus faible, Ain-lahma avec des valeurs de (15.5%, 63.3%) est la variété la plus instable.

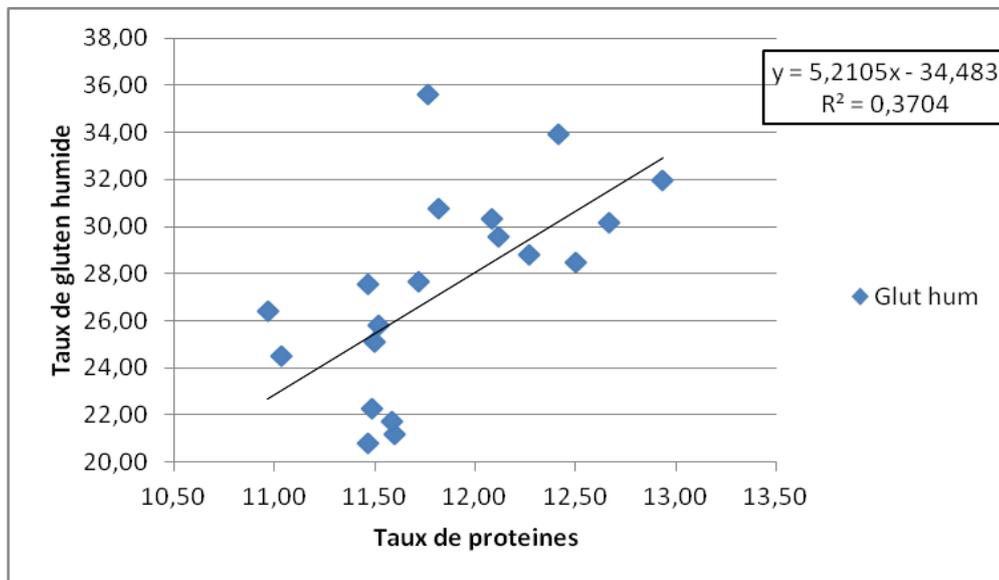
Contrairement aux variétés introduites qui se sont démarquées par les teneurs les plus faibles et par conséquent par une qualité technologique acceptable à très médiocre surtout pour Beni-mestina (Figure III.12). Les valeurs moyennes du gluten index pour les nouvelles variétés étaient de 64.4% pour Sigus, 62.8% pour GTA/dur69, 45.67% Waha, 39.4% pour Ain-lahma et finalement 26.3% pour Beni-mestina.

## III. Matrice de corrélation :

### 1. Analyse des liaisons inter- caractères pour les deux années d'études :

La matrice révèle des corrélations positives et négatives pour plusieurs paramètres étudiés (Tableau III.5), le taux de protéines est corrélé positivement avec le gluten humide et le gluten sec, avec un coefficient de corrélation et une probabilité de ( $r=0.61$  ;  $p<0.01$ ), ( $r=0.65$  ;  $p<0.01$ ) respectivement, et négativement avec le taux de mitadinage, d'amidon et de gluten index avec un coefficient de corrélation et une probabilité de ( $r= -0.51$  ;  $p<0.05$ ), ( $r= -0.48$  ;  $p<0.05$ ) et ( $r= -0.54$  ;  $p<0.05$ ), donc le taux de protéines agit positivement sur

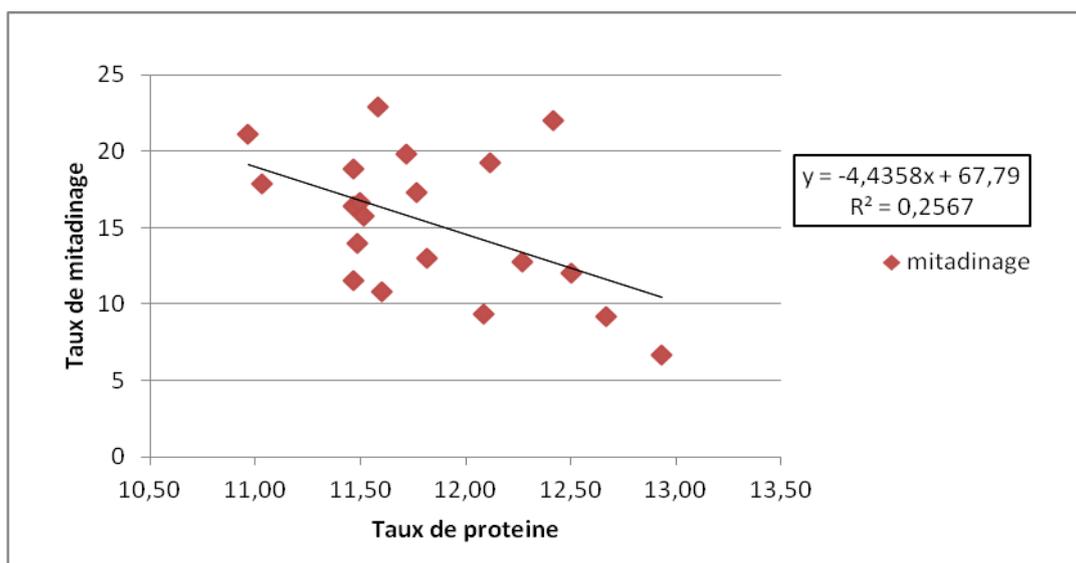
les paramètres de qualité du blé dur et augmente la teneur en gluten (Figure III.13) et diminue le taux de mitadinage (Figure III.14).



**Figure III.13 : Corrélation entre le taux des protéines grains et le taux de gluten humide.**

Le teneur en gluten donne une indication globale sur la quantité et la qualité des protéines.

Le taux de mitadinage montre une corrélation négatives avec le taux de protéines avec un coefficient et une probabilité de ( $r = -0.51$  ;  $p < 0.05$ ) respectivement (Figure III.14) et des corrélations positives avec le taux de d'amidon avec ( $r = 0.54$  ;  $p < 0.05$ ).



**Figure III.14 : Corrélation entre le taux des protéines grains et le taux de mitadinage.**

**Tableau III.5 :** Matrice de corrélation (Pearson) de tous les paramètres étudiés (Année 1 et Année 2 combinées).

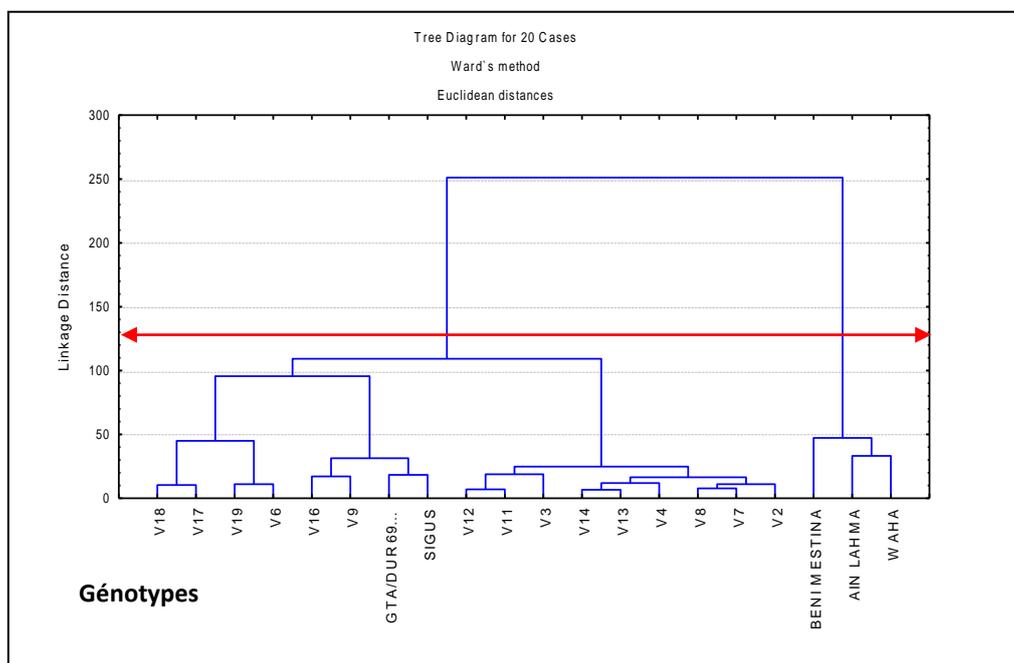
Variables	RDT	PMG	NE/m <sup>2</sup>	NG/E	PS	Prot	humidité	mitadin	Amidon	Glut hum	Glut sec	Glut Index
<b>RDT</b>	<b>1</b>											
<b>PMG</b>	-0,110	<b>1</b>										
<b>NE/m<sup>2</sup></b>	-0,312	0,193	<b>1</b>									
<b>NG/E</b>	-0,019	-0,155	-0,191	<b>1</b>								
<b>PS</b>	0,134	0,360	-0,209	0,258	<b>1</b>							
<b>Prot</b>	-0,324	0,105	0,435	-0,063	-0,125	<b>1</b>						
<b>humidité</b>	-0,264	0,137	-0,231	0,028	-0,088	0,009	<b>1</b>					
<b>mitadinage</b>	-0,251	-0,073	-0,224	-0,166	-0,023	<b>*-0,507</b>	0,282	<b>1</b>				
<b>Amidon</b>	-0,073	-0,251	-0,302	0,345	-0,179	<b>*-0,480</b>	0,408	<b>*0,537</b>	<b>1</b>			
<b>Glut hum</b>	-0,197	0,145	0,173	0,120	-0,134	<b>**0,609</b>	0,101	-0,203	-0,007	<b>1</b>		
<b>Glut sec</b>	-0,213	0,158	0,212	0,105	-0,108	<b>**0,656</b>	-0,002	-0,274	-0,143	<b>***0,969</b>	<b>1</b>	
<b>Glut Index</b>	0,371	<b>*-0,534</b>	<b>*-0,514</b>	0,019	-0,161	<b>*-0,538</b>	-0,174	0,044	0,139	<b>***-0,721</b>	<b>***-0,724</b>	<b>1</b>

\* p<0.05 : significatif ; \*\* p<0.01 très significatif ; \*\*\* p<0.001 très hautement significatif. Les valeurs en gras sont différentes de 0 à un niveau de signification  $\alpha=0,05$

**RDT** : rendement, **NE/m<sup>2</sup>** : nombre d'épi par mètre carré, **NG/E** : nombre de grains par épi, **PMG** : poids de mille grains, **Ps** : poids spécifique, **Prot** : protéines grains, **Glut Hum** : gluten humide, **Glut Sec** : gluten sec, **Glut Index** : gluten index.

#### IV. Typologie variétale :

##### 1. Typologie variétale de la première année d'étude (Année 2012/2013) :



**Figure III.15 : Groupage (clustering) des différentes variétés étudiées sur la base de l'ensemble des variables mesurées au cours de la campagne 2012/2013.**

La classification hiérarchique des génotypes étudiés sur la base des variables mesurées fait ressortir deux groupes différents. Le groupe G1 est représenté par Benimestina, Ain-lehma et Waha qui sont toutes des variétés améliorées, alors que le groupe G2 regroupe toutes les lignées avancées ainsi que deux variétés nouvelles GTA/Dur69 et Sigus (Figure III.15).

Les deux groupes diffèrent essentiellement pour le gluten index qui prend des valeurs significativement plus élevées chez les génotypes du groupe G2 et des faibles valeurs chez le groupe G1 représenté par la majorité des variétés nouvelles telle Waha, Beni-mestina et Ain-lehma. Les génotypes du groupe G2 se caractérisent aussi par un meilleur rendement comparativement à celui du groupe G1. (Tableau III.6).

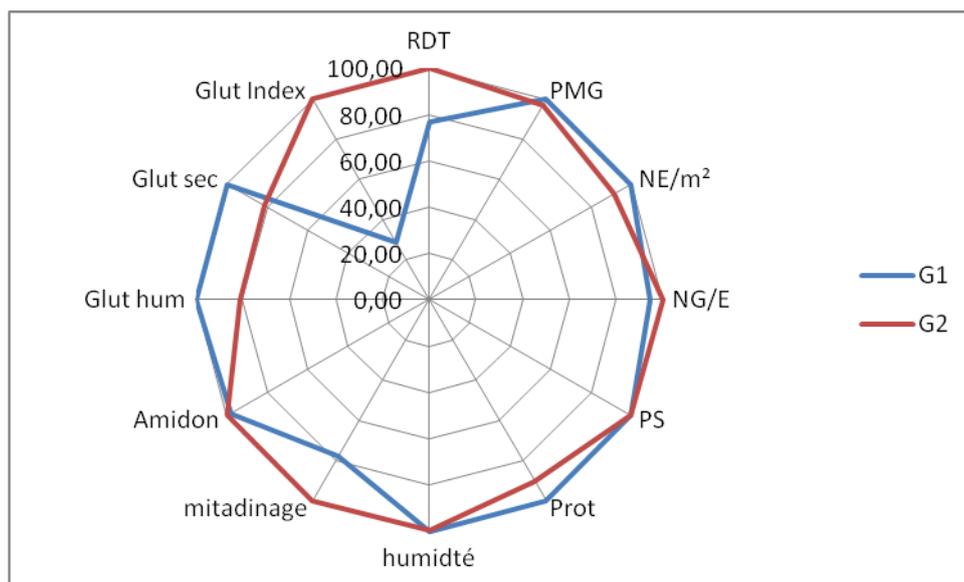
Au cours de la campagne 2012/2013, Waha, Benimestina et Ain lahma ont présenté une attitude meilleure que les génotypes du groupe G2 pour le taux de protéines, de gluten humide et sec ainsi que pour le taux de mitadinage. En revanche pour les autres paramètres à savoir le poids de mille grains, nombre d'épi par mètre carré, nombre de

grains par épi, le poids spécifique, taux d'humidité et d'amidon les deux groupes G1 G2 présentent une similitude de comportement pour ces paramètres. (Figure III.16).

**Tableau III.6: Valeurs moyennes de l'ensemble des paramètres étudiés pour les deux groupes obtenus par le clustering (1ere année).**

	RDT	PMG	NE/m <sup>2</sup>	NG/E	PS	Prot	Hum	Mitadin	Amidon	Glut Hum	Glut Sec	Glut Index
<b>G1</b>	25,06	39,23	311,33	40,00	83,67	13,47	11,27	3,72	63,38	33,07	11,75	26,07
<b>G2</b>	32,63	38,12	284,57	42,16	83,49	12,17	11,22	4,77	64,68	26,89	9,55	90,54

RDT : rendement, PMG : poids de mille grains, NE/m<sup>2</sup> : nombre d'épi par mètre carré, NG/E : nombre de grains par épi, PS : poids spécifique, Prot : protéines grains, Hum : humidité, Glut Hum : gluten humide, Glut Sec : gluten sec.



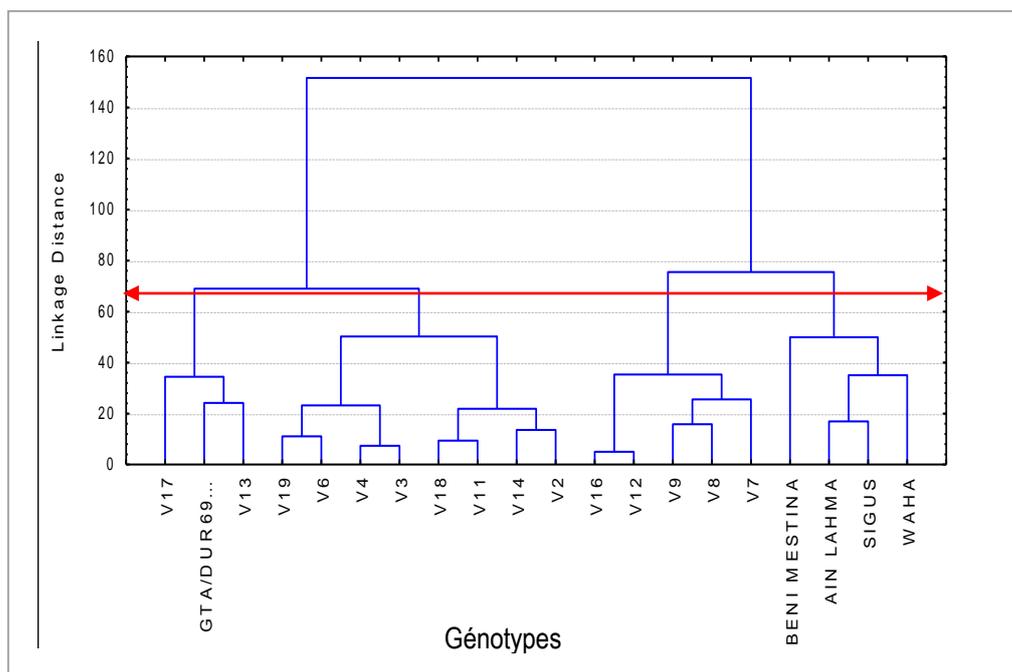
**Figure III.16 : Caractéristiques des deux groupes de génotypes identifiés sur la base des variables mesurées au cours de la première année d'essai (2012/2013).**

**2. Typologie variétale de la deuxième année d'étude (Année 2013/2014) :**

Le groupage selon le degré de ressemblance entre les différents génotypes sur la base des variables mesurées au cours de la deuxième année d'étude, laisse apparaître quatre groupes divergents. Le groupe G4 est constitué de Waha, Beni mestina et Ain lahma, il regroupe les mêmes variétés que le groupe G1 de l'année précédente, sauf que

Sigus s'ajoute à ce groupe au cours de cette année. Donc nos variétés nouvellement introduite et amélioré présente au cours de cette année d'étude 2013/2014 une homogénéité et une similitude de comportement pour la majorité des paramètres étudiés, à l'exception de la variété GTA/Dur69 qu'on retrouve groupée avec deux lignées avancées (V17 et V13) dans le groupe G1.

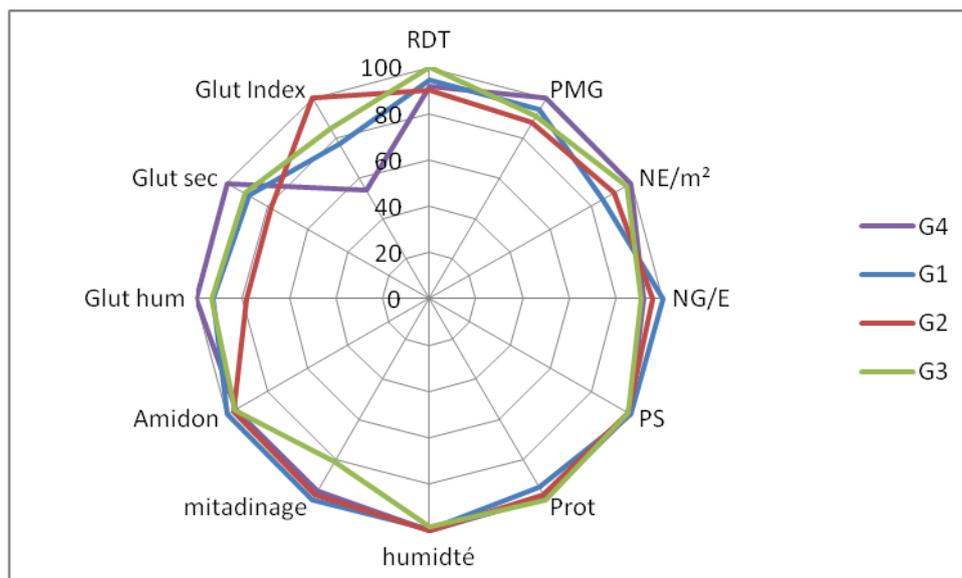
Le groupe G2 ainsi que le groupe G3 comportent tous les deux des lignées avancées regroupé comme suit, V19 ,V6,V4,V3,V18,V11,V14 et V2 pour G2 et V16,V12,V9, V8 et V7 pour G3 (Figure III.17).



**Figure III.17 : Groupage (clustering) des différentes variétés étudiées sur la base de l'ensemble des variables mesurées au cours de la campagne 2013/2014.**

Ces quatre groupes qui résultent de la classification hiérarchique, divergent surtout pour les caractéristiques relatives à la qualité technologique, essentiellement pour les valeurs du gluten index qui valorise l'aptitude des différents génotypes lors de la transformation à être apte ou non à fournir un produit de bonne qualité, et aussi pour le taux de mitadinage, un critère d'appréciation déterminant dans le rendement et la qualité de la semoule et des produits dérivés (pâtes, couscous) (Feuillet, 2000 ; Desclaux *et al.*, 2005).

Le groupe G2 se démarque fortement des autres groupes par des valeurs en de gluten index les plus élevées, malgré les faibles teneurs du gluten totale et du gluten sec apporté par ce groupe. Le groupe G3 se démarque quand à lui par des faible teneurs de taux de mitadinage, des valeurs élevées de gluten index, du gluten totale et du gluten sec ainsi que par les meilleures valeurs pour le rendement, le pois spécifique et le taux de protéines. (Figure III.18, Tableau III.7).



**Figure III.18 : Caractéristiques des différents groupes de génotypes identifiés sur la base des variables mesurées au cours de la deuxième année d'essai (2013/2014).**

Le groupe G4 représenté par les nouvelles variétés introduites se démarque par de très faible faibles valeurs des caractéristiques relative à qualité technologique à savoir, le taux très faible du gluten index et le taux très élevé de mitadinage qui vont induire par la suite à la production de produits de transformation de qualité très médiocre. Ce groupe néanmoins adhère des taux de gluten totale (gluten humide) et de gluten sec et un poids de mille grains très importants.

Le groupe G1 constitue un groupe de génotypes dont le comportement est stable et qui donne des valeurs moyennes à bonnes pour la majorité des paramètres étudiés à l'exception du nombre d'épi par mètre carré et du nombre de grains par épi où on note la valeur la plus faible et la plus élevée respectivement par rapport aux valeurs des autres groupes. (Figure III.18, Tableau III.7).

**Tableau III.7 : Valeurs moyennes de l'ensemble des paramètres étudiés pour les quatre groupes obtenus par le clustering (2eme Année).**

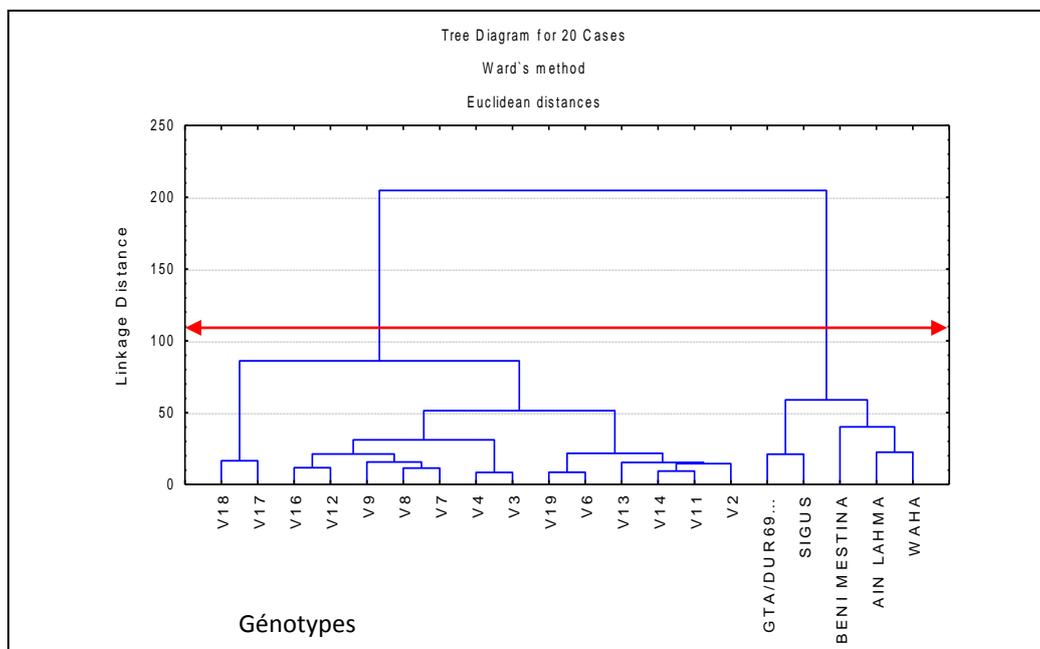
	RDT	PMG	NE/m <sup>2</sup>	NG/E	PS	Prot	Hum	Mitadin	Amidon	Glut Hum	Glut sec	Glut Index
<b>G1</b>	34,23	36,33	245,67	48,25	81,42	10,81	11,01	27,94	69,12	27,64	9,28	73,56
<b>G2</b>	32,67	33,84	260,88	46,09	80,22	11,24	11,03	27,28	67,05	23,27	8,13	95,08
<b>G3</b>	36,21	35,10	278,75	43,80	80,16	11,52	10,88	22,72	66,25	27,84	9,47	80,97
<b>G4</b>	33,15	38,50	285,75	44,44	80,83	11,38	11,04	26,68	66,14	29,82	10,38	51,45

**RDT** : rendement, **PMG** : poids de mille grains, **NE/m<sup>2</sup>** : nombre d'épi par mètre carré, **NG/E** : nombre de grains par épi, **PS** : poids spécifique, **Prot** : protéines grains, **Hum** : humidité, **Glut Hum** : gluten humide, **Glut Sec** : gluten sec.

### 3. Typologie variétale combinée des deux années d'essai (2012 – 2014):

La classification hiérarchique des génotypes étudiés sur la base des variables mesurées au cours des deux années d'étude fait ressortir deux principaux groupes.

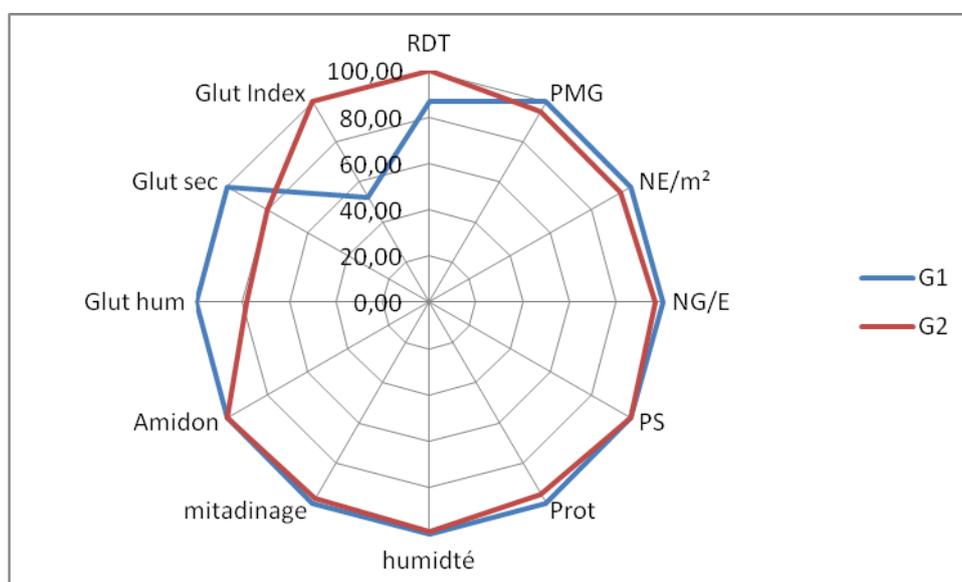
Au fil du temps, Le comportement de nos 20 génotypes, variétés nouvelles et lignées avancées, regroupe toutes les variétés nouvellement introduite ensembles dans un groupe bien distinct et les autres 15 lignées avancées dans un autre grand groupe (Figure III.19).



**Figure III.19 : Groupage (Clustering) des différentes variétés étudiées sur la base de l'ensemble des variables mesurées au cours des deux campagnes (2012-2014).**

Waha, Ainlahma et Benimestina, formaient un même groupe homogène qui représentaient les mêmes caractéristiques variétale dans la premier année d'étude (figure III.15), la variété Sigus s'ajoute à ce groupe lors de la deuxième année d'étude par son comportement qui la rapproche de ces variété est l'éloignée des autres génotypes (figure III.17).

L'évaluation du comportement de la variété Gta/dur69 pour l'ensemble des paramètres mesurés et combinés lors des deux années d'études la laisse rejoindre Waha, Ainlahma, Benimestina et Sigus pour former un même groupe homogène (G1) (figure III.19) qui s'exprime au files des années avec un comportement générale qui se rapproche.



**Figure III.20 : Caractéristiques des deux groupes de génotypes identifiés sur la base des variables mesurées au cours des deux années d'essai (2012-2014).**

Il apparait clairement que les groupes obtenus G1 et G2, groupes des variétés améliorées et des lignées avancées, diffèrent essentiellement pour le gluten index, le rendement, le gluten totale et le gluten sec.

Effectivement en remarque que les lignées avancées dépassent de loin les variétés améliorées pour le gluten index et ont une productivité moyenne meilleure. Ce qui laisse prédire une bonne production caractérisé par une qualité des valeurs technologique excellentes (figure III.20).

Malheureusement les résultats confirment que les variétés Algérienne nouvellement introduite utilisées par nos agriculteurs ne sont pas d'un bon usage industriel.

**Tableau III.8 : Valeurs moyennes de l'ensemble des paramètres étudiés pour les deux groupes obtenus par le clustering (2012-2014).**

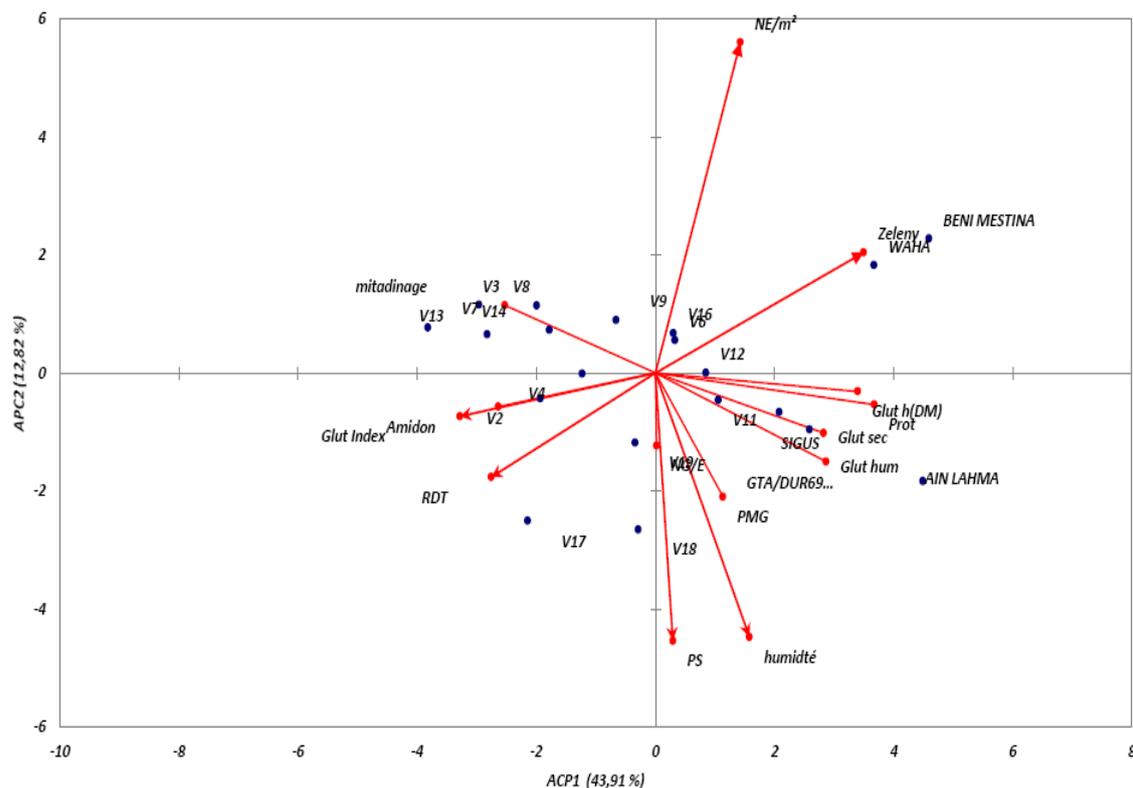
	RDT	PMG	NE/m <sup>2</sup>	NG/E	PS	Prot	Hum	Mitadin	Amidon	Glut Hum	Glut sec	Glut Index
<b>G1</b>	29,35	38,29	290,15	44,65	82,12	12,21	11,18	15,64	65,85	32,37	11,16	47,73
<b>G2</b>	33,80	36,40	274,37	43,35	81,98	11,69	11,08	15,27	65,69	25,34	8,93	91,07

**RDT** : rendement, **PMG** : poids de mille grains, **NE/m<sup>2</sup>** : nombre d'épi par mètre carré, **NG/E** : nombre de grains par épi, **PS** : poids spécifique, **Prot** : protéines grains, **Hum** : humidité, **Glut Hum** : gluten humide, **Glut Sec** : gluten sec.

#### IV. L'analyse en composantes principales :

Les deux axes principaux de l'analyse en composantes principales des données de la première année (2012/13) expliquent 43.91 et 12.82 % respectivement soit un total de 56.73%. L'essentiel des variables représentatives de la qualité du grain sont bien corrélées à l'axe 1 alors que ceux qui représentent les composantes du rendement le sont avec l'axe 2. En effet les teneurs en gluten humide et sec et le taux de protéines sont positivement liées à l'axe 1 et s'opposent aux valeurs de l'indice de gluten (glu index), l'amidon et le mitadinage. Le long de l'axe 2 s'opposent le nombre d'épis par m<sup>2</sup>, est positivement lié à cet axe, au poids spécifique, au taux d'humidité, au nombre de grains par épi et au poids de 1000 grains, qui négativement lié à cet axe2. Le rendement en grain est, par contre, bien représenté par l'axe 1 auquel il est négativement lié (Figure III.21).

Ainsi du point de vu caractérisation du matériel végétal évalué, Waha, Benimestina et Ain Lahma se démarquent par des valeurs élevées du test de Zeleny, des taux de glutens sec et humide et du taux de protéines, associées à des faibles valeurs pour l'indice de gluten, l'amidon, et le mitadinage. A l'inverse les variétés V13, V7, V14, V2 et V8 se démarquent par de faibles valeurs du test de Zeleny, des taux de glutens sec et humide et du taux de protéines, associées à des valeurs élevées pour l'indice du gluten, l'amidon, et le mitadinage Ces variétés se démarquent aussi par un rendement en grains élevé (Figure III.21).



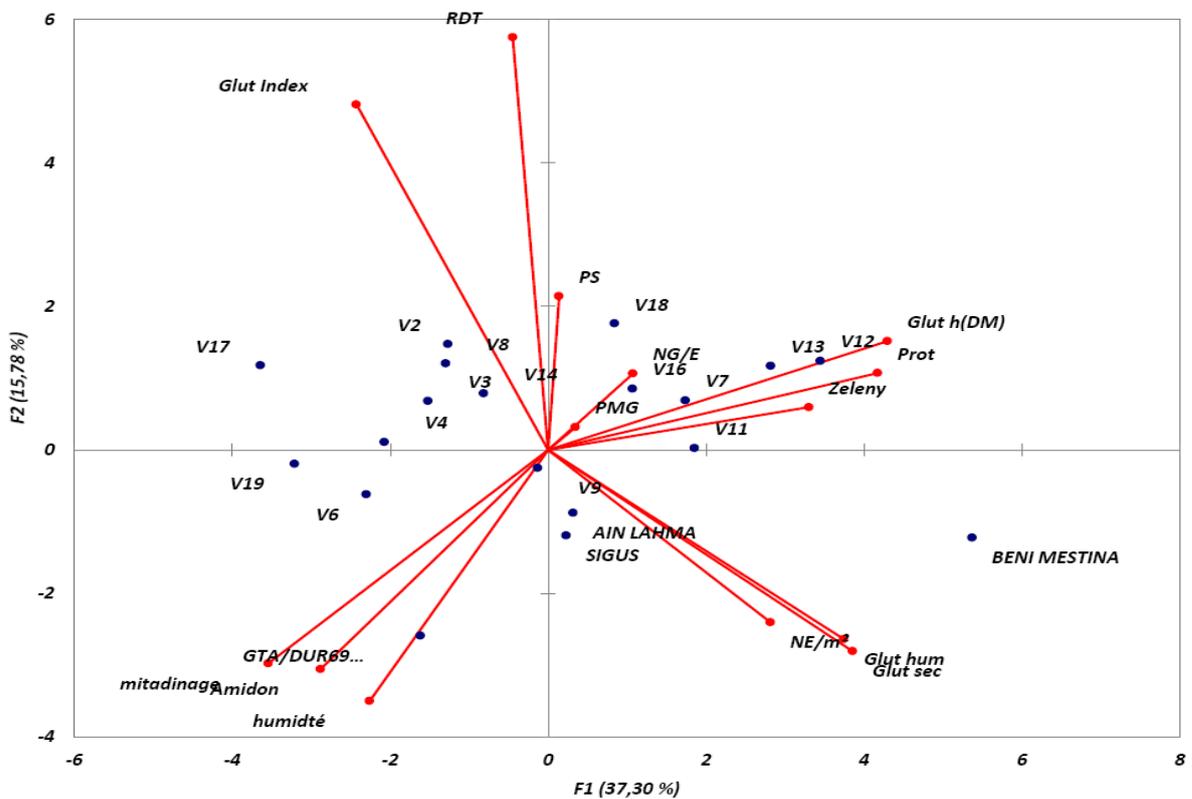
**Figure III.21 : Représentation des variables mesurées et des individus sur le plan formé par les axes 1 et 2 de l'analyse en composantes principales des données de la première année (2012/13)** (Rdt= Rendement en grains, PMG = poids de 1000 grains, NE = nombre d'épis/m<sup>2</sup>, NGE= nombre de grains par épi, PS= poids spécifique, Prot= taux de protéines, Hum= Taux d'humidité du grain, Mit= Mitadinage, Ami= Amidon, Glut h = Gluten humide, Glut sec= Gluten sec, Glut ind= indice de gluten, Zell= Zeleny).

Le long de l'axe 2, qui représente du côté positif le nombre d'épis et du côté négatif, le poids de 1000 grains, le poids spécifique et l'humidité, s'opposent les variétés V9, V6 et V16 aux variétés V17 et V18.

Les premières variétés citées présentent un poids de 1000 grains et un poids spécifique faibles, associés à un nombre d'épis /m<sup>2</sup> élevé. Alors que les secondes présentent les caractéristiques inverses, c'est-à-dire un poids de 1000 grains et un poids spécifique élevés et un faible nombre d'épis par m<sup>2</sup> (Figure III.21).

Ces résultats suggèrent que le taux de protéines et la performance de rendement en grains sont deux caractéristiques difficilement associées chez le matériel végétal étudié et de ce fait la recherche du rendement en grains se paye par une baisse du taux de protéines. De plus chez le matériel végétal étudié, le rendement en grains est plus associé au poids de 1000 grains et au nombre de grains par épi qu'au nombre d'épis produit par m<sup>2</sup> (Figure III.21).

L'analyse des résultats de la seconde campagne montre que les deux axes principaux de l'analyse en composantes principales expliquent 37.30 et 15.78 % respectivement, soit un total de 53.08% (Figure III.22). Le long de l'axe 1 s'opposent le test de Zeleny, les teneurs en gluten, humide et sec et le taux de protéines sont positivement liées à cet axe, aux valeurs de l'amidon, l'humidité et le mitadinage. L'indice du gluten change de liaisons avec les variables liées à l'axe 1, ( fait observé en 1 année) pour se rapprocher plus des variables liés à l'axe 2, au même titre que le rendement en grains qui rejoint ses composantes sur l'axe 2. Le long de l'axe 2 s'opposent, comme ce qui a été observé en première année, le nombre d'épis/m<sup>2</sup> au poids de 1000 grains, au nombre de grains par épi et au rendement en grains (Figure III.22).



**Figure III.22 : Représentation des variables mesurées et des individus sur le plan formé par les axes 1 et 2 de l'analyse en composantes principales des données de la deuxième année (2013/114)( Rdt= Rendement en grains, PMG = poids de 1000 grains, NE = nombre d'épis/m<sup>2</sup>, NGE= nombre de grains par épi, PS= poids spécifique, Prot= taux de protéines, Hum= Taux d'humidité du grain, Mit= Mitadinage, Ami= Amidon, Glut h = Gluten humide, Glut sec= Gluten sec, Glut ind= indice de gluten, Zell= Zeleny).**

Benimestina se démarque, comme en première année, par des valeurs élevées du test de Zeleny, du taux de protéines, des taux de glutens sec et humide et de faibles valeurs du taux d'amidon, du poids spécifique et de l'humidité. Les variétés Gta/dur, V17, V19 et V6 présentent des caractéristiques technologiques inverses de celles de Benimestina. Ensemble, ces variétés diffèrent peu pour le rendement en grains et les composantes de rendement (Figure III.22). Par contre la V18 présente un poids spécifique et un rendement élevés comparativement à Gta dur.

## **Conclusion et Perspectives :**

Notre travail a porté sur l'étude de 20 génotypes composés de 5 variétés améliorées Waha, Sigus, Benimestina Ainlahma et GTA/Dur69 et 15 lignées avancées durant deux campagnes successives.

Le but était d'évaluer le comportement de ces génotypes, par rapport aux paramètres de rendement et de la qualité technologique, pour ressortir la variété ou lignée, qui présente un comportement idéal tant pour la production que pour la qualité. Ce ci principalement pour satisfaire l'agriculteur, qui ne s'intéresse qu'au rendement de sa variété et d'avoir une productivité la plus meilleur pour sa parcelle, d'un coté et d'un autre coté de satisfaire le meunier qui recherche une production semoulière la plus rentable donc PS, PMG et Taux de protéines élevé et un taux de mitadinage le plus réduit. Et finalement de satisfaire le grand marché des industries de transformation de blé dur en agroalimentaire qui recherche sert une production élevée mais beaucoup plus une production de qualité technologique la plus meilleure (PS, PMG, Taux de protéine élevé et taux de gluten humide et sec avec un gluten index élevé), qui permet d'avoir des produits de transformation de qualité qui répondent au normes internationale du contrôle de la qualité mais surtout qui permet d'avoir des produits commercialisé qui se trouve en tête des ventes.

Les résultats des différentes méthodes d'analyse statistique utilisées dans cette étude, à savoir l'analyse de la variance (ANOVA), comparaison de moyennes selon PPDS, test de corrélation, l'ACP et une classification hiérarchique des génotypes sur la base des paramètres recherchées, indiquent ce qui suit :

- Il existe une différence significative inter génotypes pour tous les paramètres étudiés.
- Il existe une différence significative intra génotype pour tous les paramètres mesurés sauf pour le nombre d'épi/m<sup>2</sup> et que les conditions de déroulement des deux campagnes (conditions climatique et/ou condition de culture) ont agi sur le potentiel d'expression des 20 génotypes pour la majorité des paramètres mesurés.
- Il existe malgré les différences significatives des ressemblances et des divergences du comportement des 20 génotypes vis-à-vis des paramètres

étudiés, qui permettent de distinguer les variétés nouvelles Waha, Sigus, Beni-mestina, Ain-lahma et Gta/Dur69 et de les classer ensemble dans un seule groupe, et toutes les autres lignées avancés dans un autre groupe. Ces deux groupes divergent principalement par leur rendement, leur Taux de gluten (humide et sec) et surtout par le gluten index. Donc principalement par leur potentiel de production et leur qualité technologique.

La présente étude indique que les variétés améliorées Waha, Sigus, Benimestina, Ainlahma et Gta/Dur69 présentent un rendement moyen et une bonne teneur en protéine qui s'explique par le taux élevé du gluten mais en revanche par une qualité technologique très réduite s'expliquant par le taux faible du gluten Index.

Par contre la sélection pour les lignées avancées a apporté une grande amélioration pour les caractères de qualité et aussi pour le rendement, mais il reste à améliorer la quantité du gluten donc a amélioré le taux de protéines.

Pour ce faire en perspectives il faut utiliser des techniques de biologie moléculaire à savoir la réalisation d'une électrophorèse des protéines (gliadines et gluténines) responsable de la qualité du grain de blé dur à fin d'identifier le ou les génotypes qui en contiennent.

**Références**

**Afnor (Association Française de Normalisation) (1991).** Contrôle de la qualité des produits alimentaire : céréales et produits céréaliers. *Ed. AFNOR.*

**Aguirrezábal, L., Martre, P., Pereyra Irujo, G., Izquierdo, N., and Allard, V. (2009).** Management and breeding strategies for the improvement of grain and oil quality. *Academic Press.*[Estados Unidos]. US.

**Ait-Slimane-Ait-Kaki, S. (2008).** Contribution à l'étude de l'interaction génotype x milieu, pour la qualité technologiques chez le blé dur en Algérie. Thèse Doctorat es Sciences. Univ. Annaba.

**Alava, J.M., Millar, S.J., And Salmon, S. E. (2001).** The determination of wheat breadmaking performance and bread dough mixing time by NIR spectroscopy for high speed mixers. *Journal of Cereal Science:* 33.pp 71-81.

**Andrews, M., Lea, P., Raven, J., and Lindsey, K. (2004).** Can genetic manipulation of plant nitrogen assimilation enzymes result in increased crop yield and greater N-use efficiency ? An assessment. *Annals of Applied Biology,* 145(1) :25-40.

**Anonyme, (2014).** <http://www.amorbenamor.net/carriere/nos-offres-d-emploi/itemlist/category/31-nos-filiales> .

**Baldy, C., Ruelle, P., & Fernandes, A. (1993).** Résistance à la sécheresse du sorgho-grain en climat méditerranéen. *Sécheresse,* 4: 85-93.

**Bänziger, M., Feil, B., and Stamp, P. (1994).** Competition between nitrogen accumulation and grain growth for carbohydrates during grain filling of wheat. *Crop science,* 34(2) :440-446.

**Bard, C. (1995).** Contrôle de la qualité des céréales et protéagineux - Guide pratique., Paris: ITCF - ONIC.

**Benbelkacem A., Kellou K. (2000).** Evaluation du progrès génétique chez quelques variétés de blé dur (*Triticum turgidum* m L. var. durum) cultivées en Algérie. In: Royo C. (ed.), Nachit

M. (ed.), Di Fonzo N. (ed.), Araus J.L. (ed.). Durum wheat improvement in the Mediterranean region: New challenges. Zaragoza: *Ciheam*, p. 105-110.

**Bencharif, A., Chaulet, C., Chehat, F., Kaci, M., Sahli, Z. (1996)** La filière blé en Algérie. Le blé, la semoule et le pain. Paris : Karthala. *Biointerfaces* 45:131–135

**Bencharif, A., Rastoin, J.L. (2006).** Concepts et Méthodes de l'Analyse de Filières Agroalimentaires : Application par la Chaîne Globale de Valeur au cas des Blés en Algérie, UMR MOISA, Version du 28/11/2007.N° 7 / 2007. Montpellier.

**Benseddik, B. et Benabdelli K. (2000).** Impact du risque climatique sur le rendement du blé dur en zone semi-aride. Approche éco- physiologique, *Sécheresse*, Vol. 11, N° 1, (2000), pp. 45-51.

**Bhatia, C. and Rabson, R. (1976).** Bioenergetic considerations in cereal breeding for protein improvement. *Science*, 194(4272) :1418.

**Blanco, A., Pasqualone, A., Troccoli, A., Di Fonzo, N., and Simeone, R. (2002).** Detection of grain protein content QTLs across environments in tetraploid wheats. *Plant molecular biology*, 48(5) :615–623.

**Blanco, A., Simeone, R., and Gadaleta, A. (2006).** Detection of QTLs for grain protein content in durum wheat. *TAG Theoretical and Applied Genetics*, 112(7) :1195–1204.

**Bogard, M., (2011).** Analyse génétique et écophysiole de l'écart à la relation teneur en protéines-rendement en grains chez le blé tendre (*Triticum aestivum* L.) Thèse Docteur D'université. génétique et physiologie végétale. *l'Université Blaise Pascal*. France.

**Boujnah, M., Abecassis, J., Bakhella, M., Amri, A., Ouassou, A., Nachit M., Chaurand, M., et Jaouhari, A. (2004).** Mise au point de tests directs de laboratoire pour l'évaluation de la valeur boulangère des farines de blé dur. *AL AWAMIA III*. Vol. 1 N. 3. Eté 2004.

**Branlard, G., Dardevet, M., Saccomano, R., Lagoutte, F., and Gourdon, J. (2001).** Genetic diversity of wheat storage proteins and bread wheat quality. *Euphytica*, 119(1) :59–67.

**Brisson, N., Gate, P., Gouache, D., Charmet, G., Oury, F., and Huard, F. (2010).** Why are wheat yields stagnating in Europe? A comprehensive data analysis for France. *Field Crops Research*, 119 :201–212.

**Bushuk, W., (1986).** Wheat : chemistry and uses. *Cereal Foods World*, 31, (3): 218-226.

**Calderini, D. and Slafer, G. (1998).** Changes in yield and yield stability in wheat during the 20th century. *Field Crops Research*, 57(3) :335–347.

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

**Charmet, G., Robert, N., Branlard, G., Linossier, L., Martre, P., and Triboï, E. (2005).** Genetic analysis of dry matter and nitrogen accumulation and protein composition in wheat kernels *TAG Theoretical and Applied Genetics*, 111(3) :540–550.

**Chehat, F. (2005).** Les politiques céréalières en Algérie. Rapport Annuel. Agri-Med. Agriculture, pêche, alimentation et développement rural durable dans la région Méditerranéenne, *CIHEAM*, 2006.

**CIC (Conseil International des Céréales) (2009).** Rapport sur le marché des céréales. GMR N° :390 [en ligne] in : (<http://www.igc.org.uk/fr/publications/default.aspx> ).

**CNIS (2005).** Agriculture algérienne. Les statistiques. Http ://www.douanes.cnis.dz.

**Collection études sectorielles Algérie (2004).** Cabinet Tiers Consult. L'agroalimentaire en Algérie. Alger.

**C.T.P.S. et GEVES (2006).** (Comité technique permanent de la sélection Des plantes cultivées) (Groupe d'Etude et de contrôle des Variétés Et des Semences).

**Dalling, M., Boland, G., and Wilson, J. (1976).** Relation between acid proteinase activity and redistribution of nitrogen during grain development in wheat. *Functional Plant Biology*, 3(6) :721–730.

**Desclaux, D., Samson, M.-F., Caron, D., Roumet, P., Braun, P., Gaspard, M., Poirier, S., Compan, F., (2005).** Qualité du blé dur en Zone Traditionnelle: Diagnostic en Partenariat et

Avancées Multidisciplinaires. In *Symposium international INRA-PSDR "Territoires et enjeux du développement régional"*, 9-11 mars.

**Desclaux, D. (2005).** Amélioration de la valeur technologique et commerciale du blé dur : vers une réduction des taux de moucheture et de mitadin. Rapport du projet de recherche. INRA. Montpellier. France.

**Dexter, J. E and Edwards, N. M. (1998).** The implications of frequently encountered grading factors on the processing quality of common wheat. *Assoc. Operative Millers Bull.* June:7115-7122.

**Dexter, J.E., Matsuo, R.R. (1977).** Changes in semolina proteines during spaghetti processing. *Cereal Chem.* N° 54. pp.882 - 894.

**Dubois, J. and Fossati, A. (1981).** Influence of nitrogen uptake and nitrogen partitioning efficiency on grain yield and grain protein concentration of twelve winter wheat genotypes (*Triticum aestivum* L.). *Zeitung Pflanzenzüchtg.*

**Eliasson, A.C., Cudmundsson, M., and Svenson, G., (1995).** Thermal behaviour of wheat starch in flour-relation to flour quality, *Lebensm.-wiss. U. .-Technol.*, 28, 227-230.

**FAO. (2007).** Perspectives alimentaires. Analyse des marchés mondiales.« En ligne » : <http://www.fao.org/010/ah864f/ah864f00.htm> . Date de consultation: 03/01/2013.

**FAO (2012).** Pertes et gaspillages alimentaires dans le monde – ampleur, causes et prévention. Rome. [http://www.fao.org/nr/water/cropinfo\\_wheat.html](http://www.fao.org/nr/water/cropinfo_wheat.html) .

**Fedoroff, N., Battisti, D., Beachy, R., Cooper, P., Fischhoff, D., Hodges, C., Knauf, V., Lobell, D., Mazur, B., Molden, D., et al. (2010).** Radically rethinking agriculture for the 21st century. *science*, 327(5967) :833.

**Feillet P. (1984).** The biochemical basis of pasta cooking quality. Its consequences for durum wheat breeders. *Science Alimentaire* N° 4. pp. 551 - 566.

**Feillet, P. (1986).** L'industrie des pâtes alimentaires : Technologies de fabrication, qualité des produits finis et des matières premières. *Ind. Agric. Aliment.* N°103. pp. 979 - 989.

- Feillet, P., Dexter, J.E. (1996).** Quality requirements of durum wheat for semolina milling and pasta production. In "Monograph on Pasta and Noodle Technology", Matsuo R.R., Minnesota, A.A.C.C. N°95. pp132.
- Feillet, P., (2000).** Le grain de blé (composition et utilisation), Ed *INRA*, P57-281.
- Frederic, C., Martin, E., Pierre, R. (2013).** Mesure de la qualité du grain de blé dur par spectrométrie proche infrarouge, *Le Cahier des Techniques de l'INRA 2013 (80) n°3*, 8p.
- GIEC (Groupe d'experts Intergouvernemental sur l'évolution du climat)(2007).** Climate change 2007: impacts, adaptation and vulnerability. Summary for policy makers. Contribution of working group II to the fourth assessment report of the intergovernmental panel on climate change. [www.ipcc.ch](http://www.ipcc.ch).
- Good, A., Shrawat, A., and Muench, D. (2004).** Can less yield more ? Is reducing nutrient input into the environment compatible with maintaining crop production ? *Trends in plant science*, 9(12) :597–605.
- Grant, M. and McCalla, A. (1949).** Yield and protein content of wheat and barley. *Canad. J. Res. C*, 27 :230–240.
- Graybosch, R. and Peterson, C. (2010).** Genetic improvement in winter wheat yields in the Great Plains of North America, 1959–2008. *Crop Science*, 50 :1882–1890.
- Gregersen, P., Holm, P., and Krupinska, K. (2008).** Leaf senescence and nutrient remobilisation in barley and wheat. *Plant Biology*, 10 :37–49.
- Grignac, P. (1981).** Rendement et composantes du rendement du blé d'hiver dans l'environnement méditerranéen. Séminaire scientifique. Bari (Italie). Pp : 185-194.
- Groos, C., Robert, N., Bervas, E., and Charmet, G. (2003).** Genetic analysis of grain proteincontent, grain yield and thousand-kernel weight in bread wheat. *TAG Theoretical and Applied Genetics*, 106(6) :1032–1040.
- Habash, D., Massiah, A., Rong, H., Wallsgrove, R., and Leigh, R. (2001).** The role of cytosolic glutamine synthetase in wheat. *Annals of Applied Biology*, 138(1) :83–89.

**Hamadache, A., (2011).** Effets de quelques facteurs agro-techniques sur la qualité du grain du blé pluvial. Impact de la fertilisation azotée et de la protection phytosanitaire. *Céréaliculture*, 56 1er semestre, pp: 57-62.

**Hansen J, MS Makiko, R Reto, L Ken, WL David, and ME Martin (2006).** Global temperature change. *PNAS* 103: 14288-14293.

**Hare, P.D., Cress, W.A. and Staden, J.V., (1998).** "Dissecting the roles of osmolyte accumulation during stress." *Plant, Cell Environ.* 21(6): 535-553.

**Hernandez, J.A.Z., Santiveri, F., Michelena, A. And Pena, R.J. (2004).** Durum wheat (*Triticum turgidum* L.) carrying the 1BL/1RS chromosomal translocation : agronomic performance and quality characteristics under Mediterranean conditions. *European Journal of Agronomy*,(30).

**Hirel, B., Le Gouis, J., Ney, B., and Gallais, A. (2007).** The challenge of improving nitrogen use efficiency in crop plants : towards a more central role for genetic variability and quantitative genetics within integrated approaches. *Journal of Experimental Botany*, 58 :2369–2387.

**Huang, X., Cloutier, S., Lycar, L., Radovanovic, N., Humphreys, D., Noll, J., Somers, D., and Brown, P. (2006).** Molecular detection of QTLs for agronomic and quality traits in a doubled haploid population derived from two Canadian wheats (*Triticum aestivum* L.). *TAG Theoretical and Applied Genetics*, 113(4) :753–766.

**Ibrokhim, Y., Abdurakhmonov, and Abdusattor Abdukarimov, (2008).** Application of Association Mapping to Understanding the Genetic Diversity of Plant Germplasm Resources. *International Journal of Plant Genomics*, 10 :18.

**Iqbal, M., Navabi, A., Salmon, D., Yang, R., and Spaner, D. (2007).** Simultaneous selection for early maturity, increased grain yield and elevated grain protein content in spring wheat. *Plant Breeding*, 126(3) :244–250.

**ITCF & ONIC, (1995).** Contrôle de la qualité des céréales et protéagineux, guide pratique, 268 p.

**I.T.C.F. (Institut Technique des Céréales et des Fourrages), (2001).** Contrôle de la qualité des céréales et des protéagineux, Lavoisier, France : 268 p.

**Kaan, F., Branlard, G., Chihab B., Borries, C., Monneveux, P. (1993).** Prebreeding and breeding durum wheat germplasm (*Triticum durum* Desf.) for quality products. pp. 30 – 33.

**Kalra, N., Chakraborty, D., Sharma, A., Rai, H., Jolly, M., Chander, S., Kumar, P., Bhadraray, S., Barman, D., Mittal, R., et al. (2008).** Effect of increasing temperature on yield of some winter crops in northwest India. *Current science*, 94(1) :82–88.

**Kellou Rym (2008).** Analyse du marché algérien du blé dur et les opportunités d'exportation pour les céréaliers français dans le cadre du pôle de compétitivité Quali-Méditerranée. (Master of Science, IAMM, 2008, Série Thèses & Masters n°93).

**Kibite, S. and Evans, L. (1984).** Causes of negative correlations between grain yield and grain protein concentration in common wheat. *Euphytica*, 33(3) :801–810.

**Ku, M., Cho, D., Ranade, U., Hsu, T., Li, X., Jiao, D., Ehleringer, J., Miyao, M., and Matsuoka, M. (2000).** Photosynthetic performance of transgenic rice plants overexpressing maize C4 photosynthesis enzymes. *Studies in Plant Science*, 7 :193–204.

**Kulwal, P., Kumar, N., Kumar, A., Gupta, R., Balyan, H., and Gupta, P. (2005).** Gene networks in hexaploid wheat : interacting quantitative trait loci for grain protein content. *Functional & integrative genomics*, 5(4) :254–259.

**Laperche, A., Brancourt-Hulmel, M., Heumez, E., Gardet, O., Hanocq, E., Devienne-Barret, F., and Le Gouis, J. (2007).** Using genotype × nitrogen interaction variables to evaluate the QTL involved in wheat tolerance to nitrogen constraints. *TAG Theoretical and Applied Genetics*, 115(3) :399–415.

**Lawlor, D. (2002).** Carbon and nitrogen assimilation in relation to yield : mechanisms are the key to understanding production systems. *Journal of experimental Botany*, 53(370) :773–787.

- Le Buanec, B. (1999).** Diversité génétique des variétés de blé tendre cultivées en France au cours du vingtième siècle. Evolution variétale, données techniques et économiques. *Comptes rendus de l'académie d'agriculture française*, 85 :37–53.
- Linden, G., Lorient, D. (1994).** Biochimie agro-industrielle : Valorisation alimentaire de la production agricole. Ind. Alim. Et Biologiques. éd. Masson. pp. 70-80.
- Liu, C.Y., Shepherd, K.W., Rathjen, A.J. (1996).** Improvement of durum wheat pasta making and bread making qualities. *Cereal Chemistry* 73: pp 155-166.
- Maccaferri, M., Sanguineti, MC., Natoli, V., Ortega, JAL., Salem, MB., Bort, J. (2006).** A panel of elite accessions of durum wheat (*Triticum durum* Desf.) suitable for association mapping studies. *Plant Genet Resour* 4:79–85.
- Madaci, B., (1991).** Contribution à l'étude de l'entomofaune des céréales et particulièrement quelques aspects de la bio-écologie d'*Oulema hoffmannseggii* Lac. (Coleoptera, Chysomelidae) dans la région d'El-Khroub (Algérie). Mém. Magister, Bio. Anil. Dép. scie. de la Natu. et de vie. Univ. Mentouri, Constantine, 89 p.
- Madr (2011).** Bulletin statistiques de la campagne 2009-2010. Ministère de l'Agriculture et du Développement Rural. 23 pages.
- Masci, S., Lew, E. J.-L., Lafiandra, D., Porceddu, E., Kasarda, D. (1995).** Characterization of Low Molecular Weight Glutenin Subunits in Durum Wheat by Reversed-Phase High- Performance Liquid Chromatography and N-Terminal Sequencing. *Cereal Chemistry*. Vol. 72, No. 1. pp 100-10
- Matsuo, R. R., Dexter, J.E., Kosmolak, F.G., Leisle, D. (1982).** Statistical evaluation of tests for assessing spaghetti-making quality of durum wheat. *Cereal Chem.* N°59.
- Matweef, M. (1946).** Valeur industrielle des blés durs Tunisiens et méthodes utilisées pour appréciation. *Annales du Service Botanique et Agronomique de Tunisie*. Vol, 19, pp. 4-23.
- Matweef, M. (1966).** Influence du gluten des blés durs sur la valeur des pâtes alimentaires. (In French) *Bull. ENSMIC*. pp 213.

- Maggie, L. (2000).** Le blé dur en Afrique du Nord. Agriculture et Agro-alimentation Canada (AAC). Pub. *Division analyse du marché, Bulletin bimensuel*, vol. 13 : 2000. <http://www.agr.ca/policy/win/biweekly/index.htm>.
- McNeal, F., and Berg, C. (1978).** Recurrent selection for grain protein content in spring wheat. *Crop Science*, 18(5) :779–782.
- Mebtouche, K., (1998) :** Caractérisation technologique de quelques lignées de blé dur In : *Céréaliculture* N°32. Revue technique et scientifique de l'ITGC. Alger, pp 27-33.
- Mesfin, A., Frohberg, R., and Anderson, J. (1999).** RFLP markers associated with high grain protein from *Triticum turgidum* L. var. *dicoccoides* introgressed into hard red spring wheat. *Crop science*, 39(2) :508–513.
- Miezan, K., Finney, E., et al. (1977).** Genetic and environmental effects on the grain protein content in wheat. *Crop Science*, 17(4) :591.
- Mok, C. (1997).** Mixing properties of durum wheat semolina as influenced by protein quality and quantity. *Food and Technology*. Vol. 6. NO. 1. pp. 1-4.
- Monaghan, J., Snape, J., Chojecki, A., and Kettlewell, P. (2001).** The use of grain protein deviation for identifying wheat cultivars with high grain protein concentration and yield. *Euphytica*, 122(2) :309–317.
- M.S.D.A (Manuel Suisse des Denrées Alimentaires) (2004).** Céréales, produits de l'industrie meunière, pré-mélanges de farine, farines instantanées : 14 Céréales, produits de l'industrie meunière : pp 1-10.
- Munier-jolain, N., and Salon, C. (2005).** Are the carbon costs of seed production related to the quantitative and qualitative performance ? An appraisal for legumes and other crops. *Plant, Cell & Environment*, 28(11) :1388–1395.
- Oury, F., Bérard, P., Brancourt-Hulmel, M., Heumez, E., Pluchard, P., Rousset, M., Doussinault, G., Rolland, B., Trottet, M., Giraud, A., et al. (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 (Italy)*, 57 :59–68.

- Oury, F., Chiron, H., Faye, A., Gardet, O., Giraud, A., Heumez, E., Rolland, B., Rousset, M., Trottet, M., Charmet, G., et al. (2010).** The prediction of bread wheat quality : joint use of the phenotypic information brought by technological tests and the genetic information brought by HMW and LMW glutenin subunits. *Euphytica*, 171(1) :87–109.
- Padilla M., Oberti B., (2000),** Alimentation et nourritures autour de la Méditerranée, *Karthala – Ciheam*, Paris.
- Penning, V., Brunsting, A., and Van Laar, H. (1974).** Products, requirements and efficiency of biosynthesis : a quantitative approach. *Journal of Theoretical Biology*, 45(2) :339.
- Pepe, J., and Robert, E. (1975).** Plant height, protein percentage, and yield relationships in Sspring wheat. *Crop Science*, 15(6) :793.
- Perretant, M., Cadalen, T., Charmet, G., Sourdille, P., Nicolas, P., Boeuf, C., Tixier, M., Branlard, G., and Bernard, S. (2000).** QTL analysis of bread-making quality in wheat using a doubled haploid population. *TAG Theoretical and Applied Genetics*, 100(8) :1167–1175.
- Perten, H. (1989).** Gluten index : une méthode rapide pour la mesure des caractéristiques du gluten humide. *Industrie des Céréales*, 61 : 25-29.
- Perten,H. (1990).** Rapid measurement of wet gluten quality by the gluten index, *Cereal Foods World*, 35 (4) : 401–402.
- Porceddu, E., (1995).** Durum wheat quality in the Mediterranean Countries, Options Méditerranéennes, Série A: N°22, Zaragoza (ESP), University of Tuscia. Dept. Of Agrobiolology and Agrochimistry, Viterbo, Italy, pp 11-21.
- Prasad, M., Kumar, N., Kulwal, P., Röder, M., Balyan, H., Dhaliwal, H., and Gupta, P. (2003).** QTL analysis for grain protein content using SSR markers and validation studies using NILs in bread wheat. *TAG Theoretical and Applied Genetics*, 106(4) :659–667.
- Prudent, M., Causse, M., Génard, M., Tripodi, P., Grandillo, S., and Bertin, N. (2009).** Genetic and physiological analysis of tomato fruit weight and composition – Influence of carbon availability on QTL detection. *Journal of Experimental Botany*, 60: 923–937.v.

- Quaglia, G.B., (1988).** Other durum wheat products. In: *Durum: Chemistry and Technology*, G Fabriani and C Lintas, eds. American Association of Cereal Chemists, St. Paul, MN. pp 263-282.
- Reed, A., Below, F., and Hageman, R. (1980).** Grain protein accumulation and the relationship between leaf nitrate reductase and protease activities during grain development in maize (*Zea mays* L.) : I. Variation between genotypes. *Plant Physiology*, 66(1) :164.
- Rouverou, P. (1930).** Statistique de la production des céréales en Algérie. Céréales d'Algérie. Gouv Gen Alg Direct Agric Colon 1930 : 2-58.
- Samson, M.F., Morel M.H. (1995).** Heat Denaturation of Durum Wheat Semolina  $\beta$ -Amylase : Effects of Chemical Factors and Pasta Processing Conditions *Journal of Food Science*. Volume 60. N° 6, pp. 1313 - 1320.
- Scotti, G (1997).** Analyses physicochimiques, partie I, analyse physiques des grains du blé tendre et du blé dur, chap, 5. 76-119. In : (guide pratique d'analyse dans les industries des céréales). P79.
- See, D., Kanazin, V., Kephart, K., and Blake, T. (2002).** Mapping genes controlling variation in barley grain protein concentration. *Crop Science*, 42(3) :680–685.
- Shrawat, A., Carroll, R., DePauw, M., Taylor, G., and Good, A. (2008).** Genetic engineering of improved nitrogen use efficiency in rice by the tissue-specific expression of alanine aminotransferase. *Plant biotechnology journal*, 6(7) :722–732.
- Slama, A., Ben Salem, M., Ben Naceur, M., Zid ED. (2005).** Les céréales en Tunisie : production, effet de la sécheresse et mécanismes de résistance. Institut national de la recherche agronomique de Tunisie (INRAT). Univ. Elmanar. Tunisie. P62.
- Suprayogi, Y., Pozniak, C., Clarke, F., Clarke, J., Knox, R., and Singh, A. (2009).** Identification and validation of quantitative trait loci for grain protein concentration in adapted Canadian durum wheat populations. *TAG Theoretical and Applied Genetics*, 119(3) :437–448.

**Talamali, L. (2004).** La libéralisation du marché des céréales en Algérie. *La nouvelle république* du 23, 24 et 26 septembre 2004 -. [En ligne]. In : <http://www.Algerie-dz.com>.

**Triboï, E., Martre, P., Girousse, C., Ravel, C., and Triboï, Blondel, A. (2006).** Unravelling environmental and genetic relationships between grain yield and nitrogen concentration for wheat. *European Journal of Agronomy*, 25(2) :108–118.

**Turner, A., Bradburne, R., Fish, L., and Snape, J. (2004).** New quantitative trait loci influencing grain texture and protein content in bread wheat. *Journal of Cereal Science*, 40(1) :51–60.

**Yamaya, T., Obara, M., Nakajima, H., Sasaki, S., Hayakawa, T., and Sato, T. (2002).** Genetic manipulation and quantitative-trait loci mapping for nitrogen recycling in rice. *Journal of experimental botany*, 53(370) :917.

**Zaghouane, O., Merabti, A., Zaghouane-Boufenar, F., Aitabdellah, F., Amrani, M., Et Djender, Z. (2006).** Durum quality and progressing by rural woman in the region of high plateau in Algeria. *ITGC / ICARDA*. 38 p.

**Zanetti, S., Winzeler, M., Feuillet, C., Keller, B., and Messmer, M. (2001).** Genetic analysis of bread-making quality in wheat and spelt. *Plant Breeding*, 120(1) :13–19.

**Zouaoui, G. (1993).** Etude en F1 et F2 des hybrides issus du croisement de 05 variétés de blé dur : détermination génétique des principaux caractères a intérêt agronomique. Mem. Ing. D'Etat. I.N.R.A El Harrach. Alger. 7p.

## ملخص:

أجريت هذه الدراسة على مستوى المحطة التجريبية الفلاحية بالخروب التابعة للمعهد التقني للمحاصيل الكبرى (م ت م ك) خلال الموسمين الزراعيين (2013/2012 و 2014/2013). وضع عشرون نمطا وراثيا من القمح الصلب (*Triticum durum* Desf.) يشمل اصناف مدخلة و سلالات متقدمة أولا : لدراسة انتاجيتهم و مقارنتهم خلال كل موسم زراعي من جهة ثم خلال الموسمين من جهة ثانية.

ثانيا : تقييم النوعيات التكنولوجية المتمثلة في الوزن النوعي , نسبة كل من البروتينات , الرطوبة , النشا , الغلوتين الرطب و الجاف و مؤشر الغلوتين. ثالثا: تصنيف جميع الانماط الجينية على أساس العوامل المدروسة سمح بتميز مجموعتين مختلفتين خاصة بالنسبة الى عوامل النوعية التكنولوجية. الكلمات الدالة : قمح صلب , أصناف مدخلة , سلالات متقدمة , نوعية تكنولوجية , تثمين.

## Resumé :

La présente étude a été conduite au niveau de la Station Expérimentale Agricole de l'Institut Technique des Grandes Cultures (ITGC) d'El Khroub au cours des campagnes agricoles 2012/2013 et 2013/2014. Vingt géotypes de blé dur (*Triticum durum* Desf.) constitués de variétés introduites et de lignées avancés ont été mis en expérimentation afin d'étudier en premier lieu la productivité de chaque géotype et de les comparer durant chaque campagne d'une part et durant les deux campagnes d'autres part. En deuxième lieu l'appréciation des qualités technologiques à savoir le poids spécifique, le taux de mitadinage, de protéines, d'humidité, d'amidon, de gluten humide et sec et du gluten index. Et enfin une classification des géotypes sur la base de l'ensemble de tous les paramètres étudiés a permis de distinguer deux grands groupes divergents surtout pour les caractères de qualité technologique.

**Mots clés :** blé dur (*Triticum durum* Desf.), variétés locales, lignées avancés, qualité technologique, valorisation.

## Abstract:

This study was conducted at the Agricultural Research Station of the Field Crop Institute (ARS-ITGC) of El Khroub during the 2012/2013 and 2013/2014 cropping seasons. Twenty durum wheat (*Triticum durum* Desf.) genotypes including improved varieties and advanced lines have been studied firstly to compare their performances in one year and two successive seasons. Secondly, to assess some end-use quality traits such as the specific weight, yellow berry rate, protein content, moisture content, starch rate, wet gluten and dry gluten index. Finally, a classification of all genotypes based on the parameters studied identified two major divergent groups particularly for technological quality traits.

**Key words:** durum wheat (*Triticum durum* Desf.), improved varieties, advanced lines, technological quality, valorization.