

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE  
MINISTRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE  
SCIENTIFIQUE

UNIVERSITÉ EL HADJ LAKHDAR  
- BATNA -

INSTITUT DES SCIENCES VETERINAIRES ET DES  
SCIENCES AGRONOMIQUES

# MEMOIRE

en vue de l'obtention du diplôme de :

**MAGISTER**

*Filière*

*Sciences agronomiques*

*Option*

*Valorisation et amélioration de l'agro biodiversité végétale*

## THEME

Valorisation de la qualité de 3 variétés locales de blé dur  
(*Triticum durum Desf.*) cultivées en région semi-aride.

*Présenté par : Mr. BENCHIKH CHAWQI*

Soutenu le : 19/03/2015

Devant le jury d'examen composé de :

Président : OUDJEHIH B.

Pr . Université de Batna

Rapporteur : FAHLOUL D.

Pr. Université de Batna

Examineur : ALLOUI-LOMBARKIA O.

Pr. Université de Batna

Examineur : MEKHLOUF A.

M.C.A. Université de Sétif

Invitée : BOULELOUAH N.

M.C.B. Université de Batna

Année : 2014/2015

**Résumé :**

L'expérimentation a été réalisée durant la campagne 2012/2013, au niveau de la station ITGC de Sétif sous un étage climatique semis aride. L'étude porte essentiellement sur 3 variétés locales du blé dur (Boussalem, Waha et Mohamed Ben Bachir) soumises à 7 régimes azotés croissants. Des analyses physiques, chimiques, technologiques et rhéologiques ont été effectuées sur les grains et semoule dont l'objectif essentiel est de mettre en évidence l'expression génétique de la qualité (grain et semoule) de ces variétés en fonction des doses croissantes d'azote, afin de déterminer le meilleur génotype. L'analyse statistique des résultats montre qu'il existe une influence de la variété et des doses sur presque l'ensemble des paramètres étudiés à savoir le rendement grains, le poids de mille grains, le poids spécifique, taux de mitadinage, taux de cendre (grains, semoule), taux des protéines (grain, semoule), la teneur en gluten sec et humide des semoules, le volume de sédimentation en milieu SDS, la coloration de semoule, la hauteur de pic et temps de pétrissage, Les résultats montrent une diversité marquante entre les variétés et sur la réaction de ces derniers avec les doses croissantes d'azote pour le rendement et des traits de qualité. Mohamed Ben Bachir se trouve globalement, d'après notre étude, la variété pertinente par rapport à Boussalem et Waha pour la plupart des paramètres mesurés, notamment pour la qualité technologique et pastière. L'utilisation de cette variété avec la D4 (200U/ha) nous donne effectivement un produit de qualité, qui répond à la fois aux aspirations des agriculteurs concernant le rendement en grains ; de l'industrie pour le poids de mille grains , poids spécifique, taux et la qualité des protéines, qualité du gluten et volume de sédimentation en milieu SDS ; des consommateurs pour l'indice de coloration jaune et la force de la pâte. Cette variété peut être utilisée comme un matériel de départ (source des gènes de qualité) dans les futurs programmes d'amélioration du blé dur.

**Mots clés :** blé dur, variétés locales, fertilisation azoté, qualité, valorisation.

**Summary:**

The experiment was conducted during 2012/2013 crop season, at the ITGC Setif station under planting arid climate, the study focuses on 3 local varieties of durum wheat (Bousalem, Waha and Mohamed Ben Bachir) subjected to 7 increasing nitrogen level. We performed physical; chemical, technological and rheological analyzes on grain and semolina whose main purpose is to highlight the quality of gene expression (grain and semolina) of these varieties based on increasing nitrogen levels. The Statistical analysis approuved that there is an influence of variety and doses with almost all studied parameters such as grain yield, PMG, test weight, yellow berry rate, ash content (grains, semolina) protein content (grain, semolina), the dry-and wet semolina, SDS, strongly semolina height pic gluten and kneading time. The results showed a significant diversity among varieties and between them and the increasing nitrogen level for quality traits. Mohamed Ben Bachir is generally was highlight quality as Boussalem variety and Waha for most parameters measured including technological and pasta-making quality, the use of this variety with the D4 actually gives a quality product It addresses both the issues of farmers on grain yield; industry for the PMG, PS, rate and quality of protein and gluten SDS sedimentation test environment also the consumer index (yellow color and the strength of the dough). This variety can be used as a starting material (source of quality genes) in future breeding programs of durum wheat.

**Key words :** durum wheat, local variety, nitrogen fertilization, quality, valorization.

## ملخص:

أجريت التجربة خلال الموسم الزراعي 2013/2012 على مستوى محطة التجارب الزراعية للمعهد التقني للمحاصيل الكبرى بسطيف في مناخ شبه جاف، الدراسة أجريت على ثلاث (03) أصناف محلية من القمح الصلب أخضعت لسبع (07) مستويات متزايدة من السماد النتروجيني. قمنا بإجراء تحاليل فيزيائية، كيميائية، تكنولوجية و ريولوجية على القمح و الدقيق الهدف الأساسي منها هو تسليط الضوء على التعبير الجيني لجودة الأصناف الثلاث تحت تأثير النتروجين. أثبت التحليل الإحصائي وجود تفاعل الصنف و الجرعة مع مختلف الخصائص الدالة على الجودة: المردود، وزن الف (1000) حبة، الوزن في الهكتولتر، نسبة الميتاديناج، كمية الرماد و نسبة البروتينات (في الحبة و الدقيق)، نسبة الغلوتين الرطب و الجاف للدقيق، حجم الترسيب، لون الدقيق، ارتفاع و قوة العجين. كما بينت النتائج فروقات واضحة بين الأصناف و كذا تفاعلها مع مختلف الجرعات المتزايدة للنتروجين فيما يخص الصفات الدالة على الجودة. أثبت الصنف محمد بن البشير من خلال الدراسة انه ذو نوعية جيدة بالمقارنة مع صنف بوسلام و الواحة، لاسيما خصائص الجودة، استعمال هذه لنوعية مع الجرعة D4 يعطينا قمح ذا جودة عالية كما يلبي حاجيات كل من الفلاحين ( فيما يخص المردود)، الصناعات التحويلية ( وزن ألف (1000) حبة، وزن الهكتولتر، نسبة البروتينات، حجم الترسيب و نسبة الرماد) و أيضا المستهلك ( لون الدقيق، نسبة الغلوتين و قوة العجين). هذه النوعية ممكن ان تستعمل كمصدر للجينات في البرامج المستقبلية لتحسين القمح الصلب.

**الكلمات الدالة:** قمح صلب، نوعيات محلية، تسميد ازوتي، الجودة، تثمين

## **Remerciement :**

**Nous Remercions Dieu de nous avoir donne la volonté et le Courage qui nous ont Permis de réaliser ce travail.**

Je tiens à remercier : Pr Fahloul Djamel et Dr Boulalouah Nadia a qui nous devons le sujet, pour leur disponibilité et précieux conseils tout au long de ce travail.

Je remercie également les membres de jury Pr OUDJEHIIH B, Pr ALLOUI LOMBARKIA O, Dr MAKHLOUF A qui ont accepté de juger ce travail.

Mes vifs remerciements vont aux ingénieurs de la station ITGC de Sétif (Nadir Harkati, Nadia Fellahi, Dajamel Sersoub, Haroune Belgate, Amar Mhani, Adel Bachir, Houssin Zerargui et Mahfoud Makhlouf, Hadhj sahraoui), et de ITGC d'Alger ( Fatiha Zeghouane, Laaram, Belloule Rima, Manissa Madani et Bilal Bentayba), ERIAD de Sétif (Samia Khamaja et Abdlmouman), INRA Sétif (Abderrahmane Hannachi, Ali Guendouze, Zin elabididine Fellahi, Mohamed Ben idir). , je tiens à remercier, Abdlkrim Kiragual et Brahim Fallahi

Bien entendu, je tiens à remercier mes parents, pour leurs sacrifices et leur patience, tout au long de mes études.

Je remercie toutes les personnes qui m'ont aidé de près ou de loin pour la réalisation de ce travail.

Enfin, je remerci tout particulièrement ceux que j'ai oubliés, en les priant de bien vouloir m'excuser .

## **Dédicace :**

**Je dédie ce travail en premier lieu à mes parents«Moussa-Rogaya» 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 pères « Taher - Ahmed ».**

**Je le dédie aussi :**

**A mes frères et ma femme « Yahia - Mohcen - samiha et moufida» et a toute la famille Benchikh, sans oublié omar Ivisa.**

**A tous mes amis surtout Haroune Belgate, Abd rahmen Hanachi, Taibe Salim, Nabil Abloule, Lahcen Yesaade, Derough Radouane, Imade Halkoume , Laied Benahsene, Fayçel Zbiri, Ammar Baghdadi, Moussa Maloussi, Adel Wareth, Adel Belalmi, Madjed Belaalmi, et toutes les personnes travaillants dans la subdivision agricole de Ras El Oued et la Direction des services agricoles de de Bordj Bou Arréridj.**

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

## **Liste des abréviations**

BIPEA : Bureau Interprofessionnel d'études Analytiques

Ce g : cendre grains

Ce s : cendres semoule

CIE : commission internationale de l'éclairément

CM: carré moyen

CIC : conseil international des céréales

D: dose

G: grain

G H: gluten humid

G S: gluten sec

Ha: hectare

H P: hauteur de pic

HMW: hight Molecular-weigh

I J : indice de jaune

I B : indice de brun

ITGC : institut technique des grandes cultures

KDa: kilodalton

*LMW*: Low-Molecular-Weigh

LSD: Least Significant Difference

MBB : Mohamed Ben Bachir

Mt : million tonne

MADR : ministère de l'agriculture et du développement rural

Mit : mitadinage

mm : millimètre

PNDA : plan national de développement agricole

PNDAR : plan national de développement agricole et rural

PMG : poids de mille grains

Pro : production

Pr g : protéine grains

Pr s : protéine semoule

PS : poids spécifique

RDT : rendement

Sup : superficie

SDS : sulfate dodécyl sodium

T : total

T P : temps de pétrissage

T H : taux d'hydratation

T E : taux d'extraction

T : température

UE : union européen

## Liste des tableaux

<b>Tableau 1</b> : Production (10 <sup>6</sup> tonnes) mondiale de blé dur.....	<b>3</b>
<b>Tableau 2</b> : Evolution de la superficie, production et rendement des blés en Algérie (MADR ,2009).....	<b>5</b>
<b>Tableau 3</b> : Classification des <i>Triticum</i> .....	<b>8</b>
<b>Tableau 4</b> : Composition des différentes parties du grain.....	<b>14</b>
<b>Tableau5</b> : Distribution histologique des principaux constituants du grain de blé.....	<b>15</b>
<b>Tableau 6</b> : Composition du gluten en fonction du pourcentage de matière sèche du blé....	<b>20</b>
<b>Tableau 7</b> : Composition biochimique du couscous moyen industriel et leur semoule...26	
<b>Tableau 8</b> : Doses d'azote et de phosphore recommandées en fonction de la pluviosité...30	
<b>Tableau 9</b> : Doses d'azote préconisées par l'Institut Technique des Grandes Cultures.....	<b>34</b>
<b>Tableau 10</b> : Pluviométrie (Cumul Mensuel en mm : 2000/2012).....	<b>37</b>
<b>Tableau 11</b> : Pluviométrie : (2012/2013).....	<b>37</b>
<b>Tableau 12</b> : Température Moyenne Mensuelle sous abri de (2000/2012).....	<b>40</b>
<b>Tableau 13</b> : Températures : (2012/2013).....	<b>40</b>
<b>Tableau 14</b> : Occurrences climatiques (nombre de jours). .....	<b>41</b>
<b>Tableau 15</b> : Les caractéristiques morphologiques, culturales et qualitatives des trois variétés expérimentées.....	<b>42</b>
<b>Tableau 16</b> : Analyse de la variance des paramètres physiques étudiés.....	<b>52</b>
<b>Tableau 17</b> : Analyse de la variance des paramètres chimiques étudiés pour les grains et semoules.....	<b>63</b>
<b>Tableau 18</b> : Analyse de la variance des paramètres technologiques de la semoule.....	<b>75</b>

**Tableau 19 :** Classification des variétés en fonction du taux du gluten sec selon l'échelle de Matveef (1966)..... **84**

**Tableau 20 :** Analyse de la variance des paramètres rhéologique des semoules au mixographe..... **87**

**Tableau 21 :** Matrice de corrélation des paramètres physicochimiques technologiques et rhéologiques..... **92**

**Liste des figures :**

<b>Figure 1 :</b> Principaux pays exportateurs de blé dur dans le monde.....	4
<b>Figure 2 :</b> Evolution de la production céréalière durant la période (2000/2012).....	6
<b>Figure 3 :</b> Diffusion de la culture du blé dans le monde.....	9
<b>Figure 4 :</b> Coupe longitudinale présentant les constituants du grain.....	13
<b>Figure 5 :</b> Classification et nomenclature des protéines de réserves.....	18
<b>Figure 6 :</b> Structure macroscopique et microscopique d'une pâte alimentaire.....	25
<b>Figure 7 :</b> Pluviométrie de la campagne 2012/2013, comparée aux données moyennes sur 12 ans (2000/2012).....	39
<b>Figure 8 :</b> Courbe ombro thermique, période (2000/2012).....	39
<b>Figure 9 :</b> Mesure des paramètres du mixogramme .....	50
<b>Figure 10 :</b> Effet du génotype sur le rendement.....	53
<b>Figure 11 :</b> Effet de la dose d'azote sur le rendement .....	54
<b>Figure 12 :</b> Effet de la variété sur le poids de mille grains .....	55
<b>Figure 13 :</b> Effet de la dose d'azote sur le poids de mille grains .....	56
<b>Figure 14 :</b> Effet de la variété sur le poids spécifique .....	57
<b>Figure 15 :</b> Effet de la dose d'azote sur le poids spécifique .....	58
<b>Figure 16 :</b> Effet de la variété sur le taux de mitadinage.....	60
<b>Figure 17 :</b> Effet de la dose d'azote sur le taux de mitadinage.....	61
<b>Figure 18 :</b> Effet de l'interaction génotype *dose sur le taux de mitadinage.....	62
<b>Figure 19 :</b> Effet de la variété sur le taux de cendre grains.....	64
<b>Figure 20 :</b> Effet de la dose sur le taux de cendre grains .....	64

<b>Figure 21</b> : Effet de l'interaction G*V sur le taux de cendres grains.....	<b>65</b>
<b>Figure 22</b> : Effet de la variété sur le taux de cendres semoule.....	<b>66</b>
<b>Figure 23</b> : Effet de la dose sur le taux de cendre semoule.....	<b>67</b>
<b>Figure 24</b> : Effet de la variété sur le taux des protéines grains .....	<b>69</b>
<b>Figure 25</b> : Effet de la dose d'azote sur le taux des protéines grains .....	<b>70</b>
<b>Figure 26</b> : Effet de la dose d'azote sur le taux des protéines semoule.....	<b>71</b>
<b>Figure 27</b> : Corrélation entre le taux des protéines grains et le taux de mitadinage.....	<b>72</b>
<b>Figure 28</b> : Evolution du taux de protéine des trois variétés en fonction de la dose.....	<b>72</b>
<b>Figure 29</b> : Augmentation du rendement et des protéines en fonction de la dose d'azote pour la variété Boussalem.....	<b>73</b>
<b>Figure 30</b> : Augmentation du rendement et des protéines en fonction de la dose d'azote pour la variété Waha.....	<b>74</b>
<b>Figure 31</b> : Augmentation du rendement et des protéines en fonction de la dose d'azote pour la variété Mohamed Ben Bachir.....	<b>74</b>
<b>Figure 32</b> : Effet de la variété sur le taux d'extraction de la semoule .....	<b>76</b>
<b>Figure 33</b> : Effet de la variété sur le volume de sédimentation .....	<b>77</b>
<b>Figure 34</b> : Effet de la dose sur le volume de sédimentation .....	<b>78</b>
<b>Figure 35</b> : Effet du génotype sur la coloration de la semoule .....	<b>79</b>
<b>Figure 36</b> : Effet de la dose d'azote sur la coloration de la semoule .....	<b>80</b>
<b>Figure 37</b> : Effet de la variété sur le taux de gluten sec .....	<b>81</b>
<b>Figure 38</b> : Effet de la variété sur le taux de gluten humide .....	<b>82</b>
<b>Figure 39</b> : Effet de la dose d'azote sur le taux de gluten sec.....	<b>83</b>
<b>Figure 40</b> : Effet de la dose d'azote sur le taux de gluten humide.....	<b>85</b>

**Figure 41 :** Effet de la dose d'azote sur la capacité d'hydratation..... **86**

**Figure 42 :** Effet de la dose d'azote sur la hauteur du Pic..... **87**

**Figure 43 :** Effet de la variété sur le temps de pétrissage ..... **88**

**Figure 44 :** Effet de la dose d'azote sur le temps de pétrissage..... **89**

**Table des matières**

**Résumé**

**Remerciement**

**Dédicace**

**Liste des abréviations**

**Liste des tableaux**

**Liste des figures**

**Introduction :..... 01**

**ETUDE BIBLIOGRAPHIQUE**

**Chapitre (1) : Culture du blé..... 03**

1-1) Importance du blé..... 03

1-1-1) Dans le monde..... 03

1-1-2) En Algérie..... 04

1-2) Origine du blé dur..... 07

1-2-1) Origine et classification génétique du blé dur..... 07

1-2-2) Origine géographique..... 08

1-3) Cycles de développement du blé..... 10

**Chapitre(2) : Valorisation du blé dur..... 13**

2-1) Structure et composition du grain du blé..... 13

2-1-1) Structure du grain..... 13

2-1-2) Compositions chimiques..... 14

2-1-3) Protéines..... 16

2-1-4) Gluten..... 20

2-2) Critères d'évaluation de la qualité du grain du blé dur..... 20

2-3) Principaux débouchés du blé dur et leurs critères d'appréciations..... 22

2-3-1) Semoules..... 22

2-3-2) Pâtes alimentaires..... 23

2-3-3) Couscous..... 26

**Chapitre(3) : Fertilisation du blé dur..... 30**

3-1) Utilisation des fertilisants en Algérie..... 30

3-2) Application des fertilisants NPK sur le blé..... 31

3-3) Effet de l'azote comme élément majeur sur la culture de blé dur..... 34

3-3-1) Effet sur le rendement.....	34
3-3-2) Effet sur la qualité.....	35

## ETUDE EXPERIMENTALE

<b>Chapitre (4) : Matériel et méthodes.....</b>	<b>37</b>
4-1) Site de déroulement de l'essai.....	37
4-2) Caractéristiques pédoclimatiques du site expérimentale.....	37
4-2-1) Caractéristiques climatiques.....	37
4-2-3) Caractéristiques pédologiques.....	41
4-3) Protocole de l'essai.....	41
4-3-1) Matériel végétal utilisé.....	41
4-3-2) Dispositif mis en place.....	43
4-3-3) Conduite de l'essai.....	44
4-4) Analyse physico chimique des grains.....	46
4-5) Analyse technologique des semoules.....	48
4-6) Analyses rhéologiques de la semoule (au mixographe).....	50
4-7) Analyse statistique.....	51

## RESULTATS ET DISCUSSION

<b>Chapitre (5) : Résultats et discussion.....</b>	<b>63</b>
5.1) Paramètres physiques .....	52
5.2) Paramètres chimiques .....	62
5.3) Paramètres technologique .....	75
5.4) Paramètres rhéologiques (au mixographe).....	87
<b>Conclusion.....</b>	<b>93</b>
<b>Références.....</b>	<b>97</b>

## **Introduction :**

Les céréales et leurs dérivées constituent l'une des bases importantes de l'agroalimentaire en Algérie. Cette importance est due au mode et aux habitudes alimentaires de la population, notamment pour la semoule (pain, pâtes, couscous, galette de pain...) et la farine (pain) ; En matière de consommation soit environ 177 à 180 kg /habitant /an en équivalent semoule et farine (Kellou, 2008).

Les aliments à base de blé dur font partie d'une tradition culturelle bien ancrée dans notre pays ; la production intérieure faible du blé exige de l'Etat à faire recours à des importations massives pour satisfaire les besoins de la population sachant que de 1995 à 2005 le marché a absorbé en moyenne annuelle 4244903 tonnes de blé dont 70,44 % blé dur (Chehat, 2007).

Le grain de blé dur demeure la matière première pour la fabrication de la semoule, pâtes alimentaires et couscous vue son importance nutritionnelle élevée et ses qualités technologiques (vitrosité de l'albumen, finesse des enveloppes, teneur élevée en protéines et en pigments caroténoïdes et ténacité du gluten après traitement) (ITGC, 2000).

La qualité d'un blé dur est essentiellement le résultat de l'effet conjugué du génotype d'une part et des facteurs agro climatiques d'autre part (Abdellaoui, 2007). L'azote intervient comme le principal facteur déterminant de la qualité. Son apport doit être raisonné en fonction du stade phénologique de la plante, de la pluviométrie, du type de sol et du précédent cultural (Christiane et al., 2005).

Plusieurs études ont montrés que la fertilisation azotée influence significativement et positivement la teneur en protéines des grains qui détermine la qualité des produits Hunter et al. (1973) Abad et al. (2004), Bouacha et al. (2014). Selon Benbelkacem et al. (1995), la maîtrise de la fertilisation azotée et l'utilisation de techniques appropriées contribuent à une

qualité supérieure des blés produits par les agriculteurs et ceci permet au grain d'élaborer sa vitrosité.

Cependant, en Algérie 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'un 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 de qualité.

A cet égard, la valorisation de la biodiversité existante du blé dur local en matière de qualité et la sensibilisation des agriculteurs notamment pour les enjeux de qualité, restent des solutions efficaces pour réduire d'une part les importations du blé dur destiné aux industries de première transformation et d'autre part répondre aux besoins des ménagères et des pasteurs.

La présente étude est menée sur trois variétés de blé dur (*Triticum durum Desf.*) largement cultivées par les agriculteurs dans la zone semi aride des hautes plaines orientales (Boussalem, Waha et Mohamed Ben Bachir) qui font partie de notre patrimoine génétique, dont le but est de mettre en évidence l'expression génétique de la qualité (grain et semoule) de ces variétés en fonction des doses croissantes d'azote et de déterminer la variété et le régime optimal d'azote pour répondre aux besoins de l'agriculteur, d'industrie et des consommateurs.

## **ETUDE BIBLIOGRAPHIQUE**

## Chapitre (1) : culture du blé

### 1-1) Importance du blé dur :

#### 1-1-1) Dans le monde :

Les céréales occupent une place très importante comme source d'alimentation humaine et animale dans le monde (Allaya, 2006) ; représentent dans les pays méditerranéens les principales productions agricoles avec plus de 50% des surfaces cultivées (Bencharif et al., 2009) ; et contribuent dans ces pays de 35 à 50% des apports caloriques de leur ration alimentaire (Allaya, 2006).

Parmi ces céréales ; le blé dur occupe une place importante dans le monde, dont le grain sert à la production des pâtes alimentaire, de couscous, pain, frik, et divers gâteaux (Troccoli et al., 2000) ; et la paille pour l'alimentation des bétails ( Bahlouli et al., 2005).

La FAO (2007) a estimée une superficie moyenne annuelle de 18 millions d'hectares consacrée seulement pour le blé dur, cette superficie représente 8 à 10% du total des terres réservées aux blés, avec une production moyenne mondiale annuelle qui avoisine 27.57 Mt durant la période 1994-2007 (tableau 1).

**Tableau 1** : Production (10<sup>6</sup>tonnes) mondiale de blé dur (FAO, 2007)

	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007
Algerie	0.56	1.19	2.04	0.46	1.50	0.90	0.49	1.22	0.95	1.81	1.82	1.00	1.00	1.30
Maroc	2.34	0.50	2.27	0.88	1.54	0.8	0.43	1.04	1.03	1.77	2.03	0.75	1.20	1.50
Tunisie	0.44	0.47	1.62	0.80	1.10	1.14	1.10	0.94	0.37	1.31	1.40	1.15	1.10	1.60
Syrie	1.95	2.35	2.45	1.90	2.60	1.00	1.10	2.40	2.30	2.30	2.10	2.10	2.10	2.70
Turkie	1.08	1.30	1.50	2.20	2.40	1.60	2.00	1.60	2.30	2.30	2.40	2.30	2.30	2.70
<b>UE</b>	<b>7.16</b>	<b>6.17</b>	<b>7.59</b>	<b>6.70</b>	<b>8.72</b>	<b>7.20</b>	<b>9.07</b>	<b>7.53</b>	<b>9.52</b>	<b>8.34</b>	<b>11.8</b>	<b>7.33</b>	<b>7.66</b>	<b>8.30</b>
Inde	1.70	1.90	1.80	1.80	1.00	1.00	1.00	1.20	1.40	1.80	1.20	1.20	1.20	1.10
Mexique	1.10	1.10	1.10	1.10	1.10	1.10	1.10	1.10	1.10	1.20	1.20	1.20	0.48	1.20
<b>USA</b>	<b>2.63</b>	<b>2.78</b>	<b>3.16</b>	<b>2.39</b>	<b>3.76</b>	<b>2.70</b>	<b>2.99</b>	<b>2.27</b>	<b>2.18</b>	<b>2.63</b>	<b>2.45</b>	<b>2.56</b>	<b>2.30</b>	<b>2.60</b>
<b>Canada</b>	<b>4.64</b>	<b>4.65</b>	<b>4.63</b>	<b>4.35</b>	<b>6.04</b>	<b>4.34</b>	<b>5.71</b>	<b>2.99</b>	<b>3.88</b>	<b>4.28</b>	<b>4.96</b>	<b>4.75</b>	<b>4.80</b>	<b>4.60</b>
Argentine	0.10	0.10	0.19	0.29	0.16	0.18	0.19	0.14	0.10	0.15	0.18	0.16	0.16	0.40
Australie	0.06	0.20	0.26	0.28	0.40	0.40	0.40	0.40	0.10	0.45	0.40	0.40	0.40	0.70
Russie	1.80	1.00	1.30	2.00	0.50	1.00	1.00	1.30	1.50	1.20	1.00	1.20	1.20	1.70
kazakhstan	0.70	0.50	0.50	0.50	0.30	0.40	0.10	0.05	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	3.00
<b>Monde</b>	<b>26.2</b>	<b>24.2</b>	<b>30.4</b>	<b>25.7</b>	<b>31.1</b>	<b>23.8</b>	<b>26.7</b>	<b>24.2</b>	<b>26.8</b>	<b>28.6</b>	<b>33.0</b>	<b>26.2</b>	<b>26.0</b>	<b>33.2</b>

L'Union européenne se trouve dans la première place avec une moyenne de 8.07 Mt, suivi par Canada avec une production moyenne de 4.61 Mt, suivi d'USA avec une production de 2.67 millions de tonnes (tableau 1).

Ces trois pays fournissent près de 56 % du blé dur produit dans le monde. Ils sont les principaux pays exportateurs de blé dur dans le monde.

Pour la campagne 2007/2008 le Conseil international des céréales (CIC) a estimé une production mondiale inférieure à celle de 2006/2007 de l'ordre de 33.1 Mt, cette baisse est due principalement aux faibles productions de l'UE, avec un prix augmentant considérablement à cause de la diminution des stocks de l'ordre de 50% chez les principaux exportateurs de blé dur (figure 1).

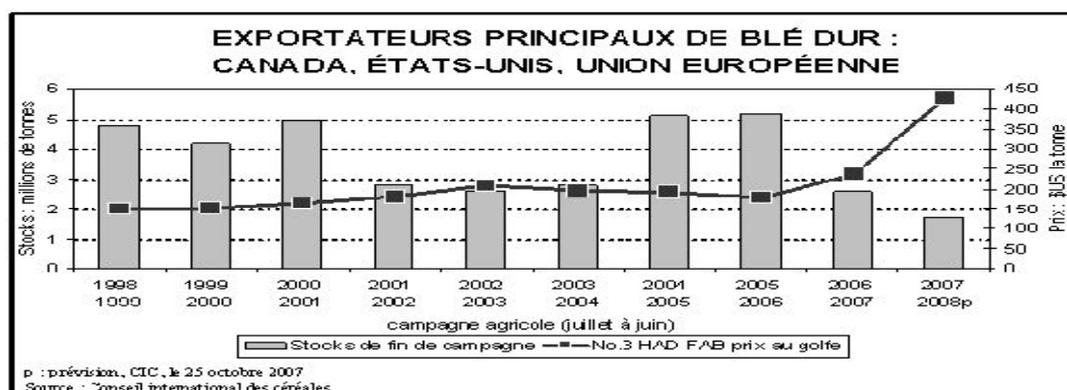


Figure 1 : les principaux pays exportateurs de blé dur dans le monde (CIC 2007)

### 1-1-2) Importance en Algérie :

L'Algérie est la 5<sup>ème</sup> dans le classement mondial de consommation des céréales (Djermoun, 2009). La consommation alimentaire humaine des céréales occupe 60% de la ration alimentaire moyenne en Algérie (contre 25 à 30% en Europe), elle est évaluée à 200 kg équivalent grain/ an/ hab. (Bencharif et al., 2009).

L'importance de la filière céréaliculture en Algérie revient aux modes et aux habitudes alimentaires de la population qui est basées essentiellement sur la consommation des céréales

sous toutes ses formes, notamment la semoule (pain, pâte, coucous, galette de pain..), et la farine (Pain) (kellou, 2008).

Depuis les années 1980, la part la plus importante de l'intrant national en blé est constituée par des importations (70%), avec de fortes variations de stocks qui suggèrent un déséquilibre de la filière.

En 2003, le blé dur représentait environ 47% des intrants de la filière et le blé tendre 53%, ce qui traduit par une mutation dans la structure de la consommation alimentaire, avec une « occidentalisation » du modèle (substitution du pain à la semoule) (Bencharif et al., 2007).

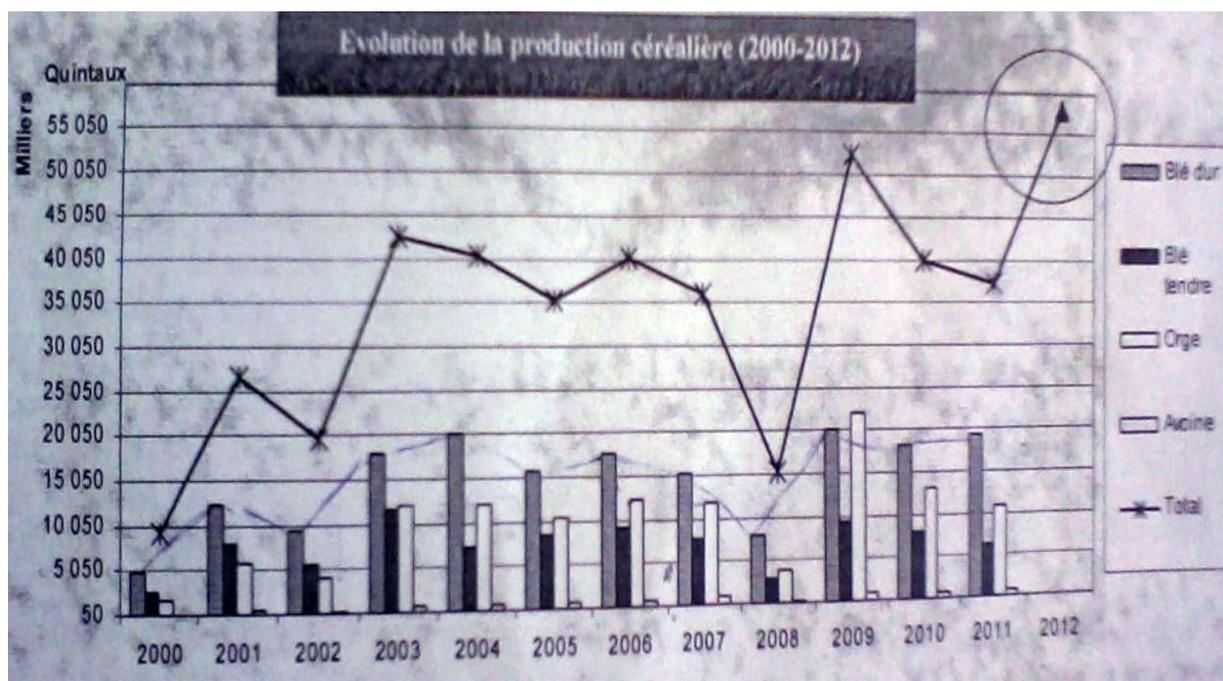
La culture des céréales et plus particulièrement celle du blé dur, a été, et restera l'activité principal de l'agriculture algérienne. Avec une surface agricole utile de 8423340 ha (MADR, 2009), le blé dur occupe près de 18% de cette surface en 2008 qui a augmenté en 2009 à 37.7% avec un taux d'accroissement de 74% mais aussi une augmentation du blé tendre en parallèle (tableau 2).

**Tableau 2:** Evolution de la superficie, production et rendement des blés en Algérie

	Compagne 2007/2008			Compagne 2008/2009			Taux d'accroissement en % (2008/2009)		
	Sup (ha)	Pro (qx)	Rdt qx/ha	Sup (ha)	Pro (qx)	Rdt qx/ha	Sup	Pro	Rdt
<b>Blé dur</b>	<b>726105</b>	<b>8138115</b>	<b>11.2</b>	<b>1262842</b>	<b>23357870</b>	<b>18.5</b>	<b>74</b>	<b>187</b>	<b>65</b>
<b>Blé tendre</b>	<b>280466</b>	<b>2972210</b>	<b>10.6</b>	<b>585733</b>	<b>11093120</b>	<b>18.9</b>	<b>109</b>	<b>273</b>	<b>79</b>

(Source : MADR 2009)

La production des céréales en Algérie et notamment le blé dur est marquée par des fluctuations permanentes (figure 2), le minimum a été enregistré dans la campagne 2007/2008 d'environ 0.8 million de tonnes, suivi par une production maximale dans la campagne 2008/2009 d'environ 2 millions de tonnes.



**Figure 2 :** Evolution de la production céréalière (2000-2012) (source ITGC, 2012)

Ces fluctuations peuvent être d'ordre climatique et rapporté le plus souvent au déficit hydrique qui représente le stress le plus sévère auquel la culture de blé dur fait face dans les conditions de productions des zones arides et semi-arides (Chennafi et al., 2006), ou d'ordre technique justifié par la faible maîtrise de l'itinéraire technique.

L'agriculture algérienne est structurellement loin de satisfaire une demande de plus en plus croissante qui a classé l'Algérie en 2008 au quatrième rang des pays importateurs du blé au monde (Boussard et al., 2011).

Depuis 1962, la consommation du blé en Algérie a été multipliée par 5 pour consommer en 2010 les 1.3% de la production mondiale. Cette augmentation est due selon Boussard et al. (2011) au changement des habitudes alimentaires, à l'élévation des niveaux de vie et ainsi au accroissement démographique.

Ces grands défis de l'agriculture algérienne, oblige l'état pour répondre aux besoins de la population à importer du marché international, de 1995 à 2005 le marché Algérien a absorbé,

en moyenne annuelle, 4244903 tonnes de blés dont 70,44% de blé dur, soit 2990265 tonnes représentant une valeur de 858 millions de dollars, dont 60,36% de blé dur soit une facture de 578 millions de dollars (Chehat, 2007).

## **I.2) origine du blé dur**

### **I.2.1) Origine et classification génétique:**

Le blé est un monocotylédone qui appartient au genre *Triticum* de la famille des Gramineae, c'est une céréale dont le grain est un fruit sec et indéhiscant, appelé caryopse, constitué d'une graine et de tégument.

Les deux espèces les plus cultivées sont le blé dur (*Triticum durum*.Desf) et le blé tendre (*Triticum aestivum* L.) (tableau 3). Il existe de nombreuses autres espèces de *Triticum* dont la différence est dans leur degré de ploïdie (blés diploïdes : génome AA ; blés tétraploïdes : génomes AA et BB ; blés hexaploïdes: génomes AA et BB et DD) et dans leur nombre de chromosomes (14, 28, 42) (tableau 3).

La filiation génétique des blés est complexe et complètement élucidée. Il est acquis que le génome A provient de *Triticum monococcum*, le génome B d'un *Aegilops* (*bicornis*, *speltoïdeslongissima* ou *searsii*) et le génome D d'*Aegilops squarrosa* (dénommé *Triticumtanschi*) (Feillet, 2000).

Le croisement naturel *T.monococcum* x *Aegilops* (porteur du génome B) a permis l'apparition d'un blé dur sauvage de type AA BB (*Triticum turgidum* ssp, *dicoccoïdes*) qui a ensuite progressivement évolué vers *Tturgidum* ssp, *dicoccum* puis vers *T durum* (blé dur cultivé).

Les différentes espèces appartenant au genre *Triticum* sont données au tableau (3) (Feillet, 2000).

**Tableau 3 :** Classification des *Triticum* (Feillet, 2000).

Forme sauvage	Forme cultivée	Nom commun	Nombre de chromosomes 2n	Nature des génomes
<i>T.boeoticum</i>	<i>T.monococcum</i>	Engrain	14	AA
<i>T.urartu</i>			14	AA
<i>T.dicoccoides</i>	<i>T.dicoccum</i>	Blé poulard	28	AA BB
	<i>T.durum</i>	Blé dur	28	AA BB
	<i>T.polonicum</i>	Blé de Pologne	28	AA BB
	<i>T.turgidum</i>		28	AA BB
	<i>T.araraticum</i>		28	AA BB
<i>T. monococcum</i>	<i>T.aestivum</i>	Blé tendre	42	AA BB DD
* <i>Tspelta</i>	<i>T.spelta</i>	Epeantre	42	AA BB DD
* <i>aestivum</i>	<i>T.sphaerococcum</i>	Blé indien nain	42	AA BB DD
(hypothétique)	<i>T.compactum</i>	Blé club	42	AA BB DD

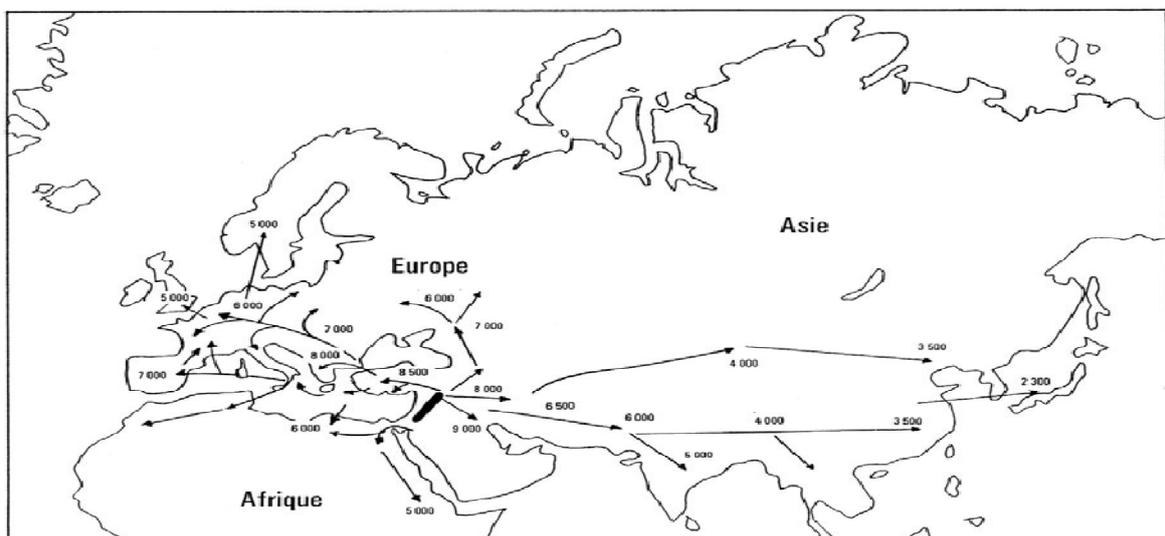
Dès le début du 19<sup>ème</sup> siècle, Sakamura a montré que les blés formaient une série polyplœide. Ensuite, par la méthode d'analyse génomique, il a été clairement démontré que l'allo polyplœidie a eu un rôle essentiel dans l'apparition du blé dur et du blé tendre (Sakamura in Gallais et al., 1992).

### 1-2-2) Origine géographique

Les céréales sont largement réparties sur l'ensemble des continents, mais restent présentes principalement en Europe et en Asie (Simon, 1989).

Les blés cultivés sont apparus, il ya une dizaine de milliers d'années en Mésopotamie (Feillet, 2000). Suite aux découvertes archéologiques, leur domestication remonterait au VII<sup>e</sup> millénaire avant JC. Ils étaient cultivés en mélange avec l'orge et l'en grain dans l'ancienne Egypte (Harlan, 1975). Levy et Feldman (2002), affirment que la domestication du blé diploïde s'est produite dans le nord du croissant fertile (voir figure 3) au proche orient et que le blé tétraploïde a été domestiqué dans le bassin de Jourdain et ensuite été diversifié dans les centres secondaires aux plateaux éthiopiens, le bassin méditerranéen et le Transcaucasie.

D'après Vavilov (1951) in Hamel (2010), les espèces de blé dur dont le nombre été de 84 proviennent des espèces parentales primitives dont l'origine est le bassin méditerranéen. Il ajoute que le blé dur a été cultivé dans plusieurs régions du monde, le pourtour du bassin méditerranéen, le moyen orient, l'Europe occidentale, l'URSS et, qu'il couvrait également de grand étendus en Amérique du Nord et en Argentine.



**Figure 3 : La diffusion de la culture du blé dans le monde (Bonjean, 2001)**

### **1-3) Cycle de développement du blé dur :**

En général, toutes les céréales ont le même cycle de développement selon (Bouffenaar et al., 2006) le développement représente l'ensemble des modifications phénologiques qui apparaissent au cours du cycle de la culture. Les dates de déclenchement des stades de développement dépendent essentiellement des températures et des photopériodes accumulées par la culture depuis sa germination.

Trois périodes repères caractérisent le développement du blé à savoir : la période végétative, reproductrice et période de formation du grain et maturation.

#### **1-3-1) la période végétative:**

Elle débute par le passage du grain de l'état de vie ralentie à l'état de vie active au cours de la germination qui se traduit par l'émergence de la radicule et des racines séminales et celle de l'élongation de la coléoptile (Bouffenaar et al., 2006). Elle se divise en deux phases dont leur durée s'étale jusqu'au fin tallage avec une croissance complètement végétative.

##### **\* phase germination- levée:**

Pour que la graine germe normalement, il faut que deux conditions soient réunies: 1) la graine soit capable de germer c'est à dire qu'elle est vivante et mûre. 2) Le sol doit fournir à la graine l'eau et l'oxygène et la chaleur nécessaires pour sa germination (Soltner, 2005).

##### **\*phase levée-tallage:**

C'est un mode de développement propre aux graminées, il est caractérisé par 3 phases principales. 1) stade de formation du plateau de tallage : C'est le phénomène de "pré tallage" dans lequel le deuxième entre noeud qui porte le bourgeon terminal s'allongé à l'intérieur de la

coléoptile, il stoppe sa montée à 2 centimètres sous la surface quelle que soit la profondeur du semis, à ce niveau il y aura l'apparition d'un renflement : c'est le futur plateau de tallage.

2) stade d'émission des talles : à l'aisselle des premières feuilles du blé des bourgeons axillaires entre alors en activité pour donner de nouvelles pousses : les talles (Soltner, 2005 ; Gate, 1995). Dans cette phase, la plante se base dans leur alimentation sur les ressources de la graine et l'azote du sol parce que ses besoins sont faibles en éléments minéraux notamment l'azote jusqu'au stade 2-3 feuilles (Austin et al., 1975) in Cherfia (2010). D'après Masle (1981), une alimentation azotée limitant pour la plante se manifeste simultanément par l'interruption du processus de tallage herbacé et par une réduction de la croissance des talles existantes.

### **I-3-2) La période reproductrice:**

C'est la formation et la naissance de l'épi. Le début de cette phase est marqué par une différenciation de l'ébauche d'épillet sur l'apex. Ce stade marque la fin de la période végétative et l'acheminement vers la fonction de reproduction (Bouffénar et al., 2006).

\* **phase montaison et le gonflement:** Durant cette phase, il y a l'allongement des entrenœuds d'un certain nombre de talles herbacées, les talles les plus âgées se trouvent couronnées par des épis alors que les talles suffisamment avancées meurent par la suite (Masle, 1982). Cette phase est marquée par un agrandissement de la demande en eau, lumière et l'azote (Gate, 1995 ; Clement et al., 1975). La durée de cette phase est très peu variable : 28-30 jours, elle se termine au moment de la différenciation des stigmates des fleurs (Bouffénar et al., 2006). A partir de la montaison, les besoins en azote deviennent très importants et déterminent le nombre d'épis, le nombre de grain par épi et le poids maximal du grain (Hebert, 1975).

\* **phase d'épiaison et de fécondation:** Cette phase a une durée peu variable (32 jours en moyenne), c'est durant cette période que s'achève la formation des organes floraux et s'effectue la fécondation.

### **1-3-3) la période de formation et maturation des grains :**

#### **\*Phase de grossissement du grain:**

Durant cette phase, l'embryon se développe et ainsi l'albumen se remplit par des substances de réserve, c'est la phase laiteuse dont le grain s'écrase facilement (Bouffénar et al., 2006).

#### **\* Phase de Maturation :**

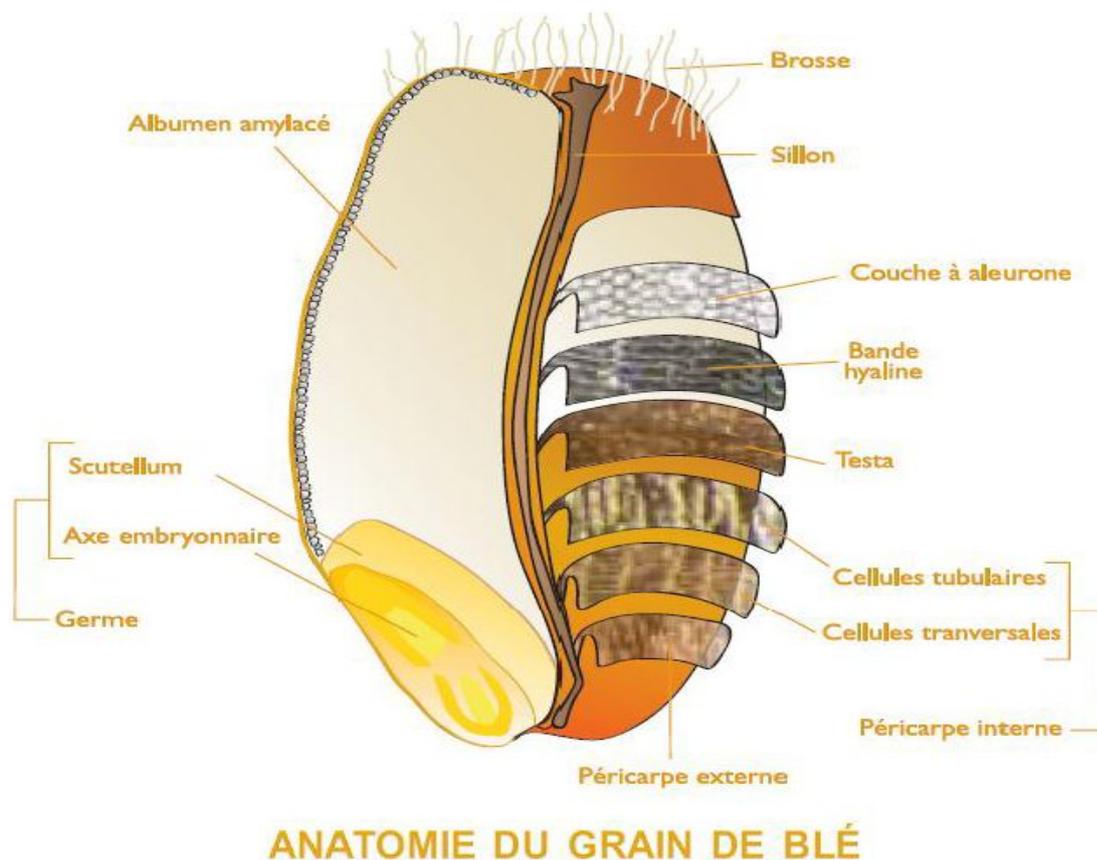
C'est la dernière phase du cycle végétatif, la maturation correspond à l'accumulation de l'amidon dans les grains puis à leur perte d'humidité (Soltner, 2005). Le poids des grains continue d'augmenter contrairement au poids des tiges et feuilles. Elle se termine par le stade pâteux des grains (l'écrasement du grain à ce stade formant une pâte) (Bouffénar et al., 2006), et en fin le stade de maturité physiologique dont le grain devient dur et prend sa couleur jaunâtre.

## Chapitre (2) : Valorisation du blé dur

### 2-1) Structure et composition chimique du grain du blé dur :

#### 2-1-1) Structure du grain :

Le grain de blé est un caryopse, caractérisé par une brosse et parcouru en surface par un sillon longitudinal dont le repli atteint parfois le cartier médian du grain. Ce caryopse comprend trois parties. Les enveloppes ou son (13%), l'albumen (84%) et le germe 3%. (Boudreau et al., 1992).



**Figure 4** : Coupe longitudinale présentant les constituants du grain (Paul, 2007)

**\*Péricarpe ou enveloppe** : c'est la pellicule cellulosique, son rôle est la protection de la graine au cours de sa formation dans l'épi et limite aussi l'entrée des moisissures et les bactéries ; par contre il permet le passage de l'air et l'eau. Il est formées de 6 tissus : épiderme

du nucelle, tégument séminale ou testa (enveloppe de la graine), des cellules tubulaires, cellules croisées, mésocarpe et épicarpe.

**\*L'endosperme ou amande:** il occupe presque tout l'intérieur du grain et se compose principalement de minuscules grains d'amidon, il contient l'essentiel des réserves énergétiques qui nourrissent la plantule au moment de la germination, et composé aussi de la couche à aleurone.

**\*Le germe ou embryon :** composé d'un embryon (lui-même formé de la coléoptile, de la gemmule, de la radicule, du coléorhize et de la coiffe) et de scellum.

#### 2-1-2) Composition chimique du grain :

Toutes les céréales présentent les mêmes constitutions à savoir : enveloppe, amande farineux et germe de la future plantes dont le blé. Ce qui diffère est le pourcentage de la répartition des différents constituants chimique, que ce soit à l'intérieur des différentes parties de la graine (tableau 4) ; ou sa distribution au sein des différentes fractions histologiques du grain (tableau 5).

**Tableau 4 :** Composition des différentes parties du grain (Roudant et al., 2005)

Partie du grain	% du grain	Composition en pourcentage
Enveloppes	9%	Son, cellulose : $\geq 20$ .
Assisse protéique	8%	Protide : 20, lipides : 9, minéraux : 16 Vitamines.
Amande ou albumen	80%	Amidon : 72, protides : $\geq 10$ , gluten
Germe ou embryon	3%	Protide : 26, lipides : $\geq 10$ , glucide : 10, Minéraux : 4.5, vitamines.

**Tableau 5 :** Distribution histologique des principaux constituants du grain de blé (feillet, 2000).

	Grain	Péricarpe (6%)		Aleurone (7%)		Albumen (84%)		Germe (3%)	
	%G	%T	%G	%T	%G	%T	%G	%T	%G
Protéine	13.7	10	4.4	30	15.3	12	73.5	31	6.8
Lipide	2.7	0	0	9	23.6	2	62.9	12	13.5
Amidon	68.9	0	0	0	0	82	100	0	0
Sucres réducteurs	2.4	0	0	0	0	1.8	62.7	30	37.3
pentosane	7.4	43	35.1	46	43.8	1.6	18.3	7	2.9
Cellulose	2.8	40	87.1	3	7.6	0.1	3.1	2	2.2
minéraux	1.9	7	22.6	12	43.6	0.5	22.6	6	9.7

Les différents constituants ont une répartition inégale au sein des différentes fractions histologique du grain. L'amidon se trouve en totalité dans l'albumen amylicé, la majeure partie des protéines se trouve dans l'albumen avec un pourcentage de 73,5% alors que le reste est réparti dans le péricarpe, aleurone et germe avec respectivement 4,4 ; 15,3 et 6,8%, les pentosanes sont particulièrement élevées. Les matières minérales et les pentosanes abondent dans la couche à aleurone avec un pourcentage de 43,6 et 43,8% respectivement, alors que l'albumen contient (22,6 et 18,3%), les lipides voisinent ou dépassent les 10% dans le germe et dans la couche à aleurone (tableau 5).

La connaissance de la composition chimique du blé donne une idée sur sa valeur nutritionnelle et technologique, globalement le grain du blé est composé de : l'eau, les glucides, les lipides, les minéraux, les vitamines et **les protéines**.

- **L'eau :**

Le pourcentage en eau du blé varie selon la variété et le temps de récolte, il est d'environ 13,5%, ce pourcentage a deux effets différentes ; il permet d'une part une aptitude de stockage

à long duré et inhibe d'autre part le développement des micro-organismes notamment les moisissures (Fredot, 2005).

- **Les glucides**

La fraction importante des glucides est représentée par l'amidon d'environ 60 à 70% du grain et ainsi d'autre pentoses et matières cellulosiques (Patrick, 2006).

- **Les lipides**

Les grains de blé sont pauvres en lipides, sa teneur en lipides est d'environ 2,7% d'après feillet (2000). Certains types ont un pouvoir moussant et contribuent à la fabrication d'un pain bien enveloppé (Patrick, 2006).

- **Les minéraux et vitamines**

Grande variation en matière de minéraux à savoir : le potassium (340mg/100g) ; phosphore (400mg/100g) ; calcium (45mg/100g) ; sodium (8mg/100g). la graine de blé est également riche en vitamines notamment celles du groupe B à savoir B1, B2, B3, B6, B9 (Roudant et al., 2005).

### **2-1-3) Les protéines du blé**

Les protéines sont à la base de la qualité technologique du blé et de leurs débouchés que ce soit de première transformation (semoule, farine) ou de deuxième transformation (pâtes alimentaires, couscous, pain), ils contribuent à l'expression des caractéristiques culinaires. Le grain de blé contient entre 10 et 15% de protéines selon la variété (Battais et al., 2007).

Ils sont classés suites à leur solubilité en deux classes à savoir : les protéines solubles et les protéines de réserves.

**Les albumines** solubles dans l'eau,

**Les globulines** solubles dans les solutions salines diluées,

**Les gliadines** solubles dans une solution eau/éthanol,

**Les gluténines** partiellement solubles dans les solutions diluées d'acide et dans certains détergents ou dissociant (Osborne, 1907).

### **2-1-3-1) Les protéines solubles**

Les albumines et globulines représentent 15-20% des protéines totales et sont solubles respectivement dans l'eau et les tampons salins. Elles participent à la formation des grains et à l'accumulation des réserves dans l'albumen (Vensel et al., 2005).

Elles sont présentes dans l'embryon et dans l'endosperme (Macritchie, 1984). Les albumines sont relativement riches en tryptophane par rapport aux protéines de réserve et pauvres en azote amidé ; alors que les globulines sont pauvres en tryptophane et très riches en arginine (Dacosta, 1986).

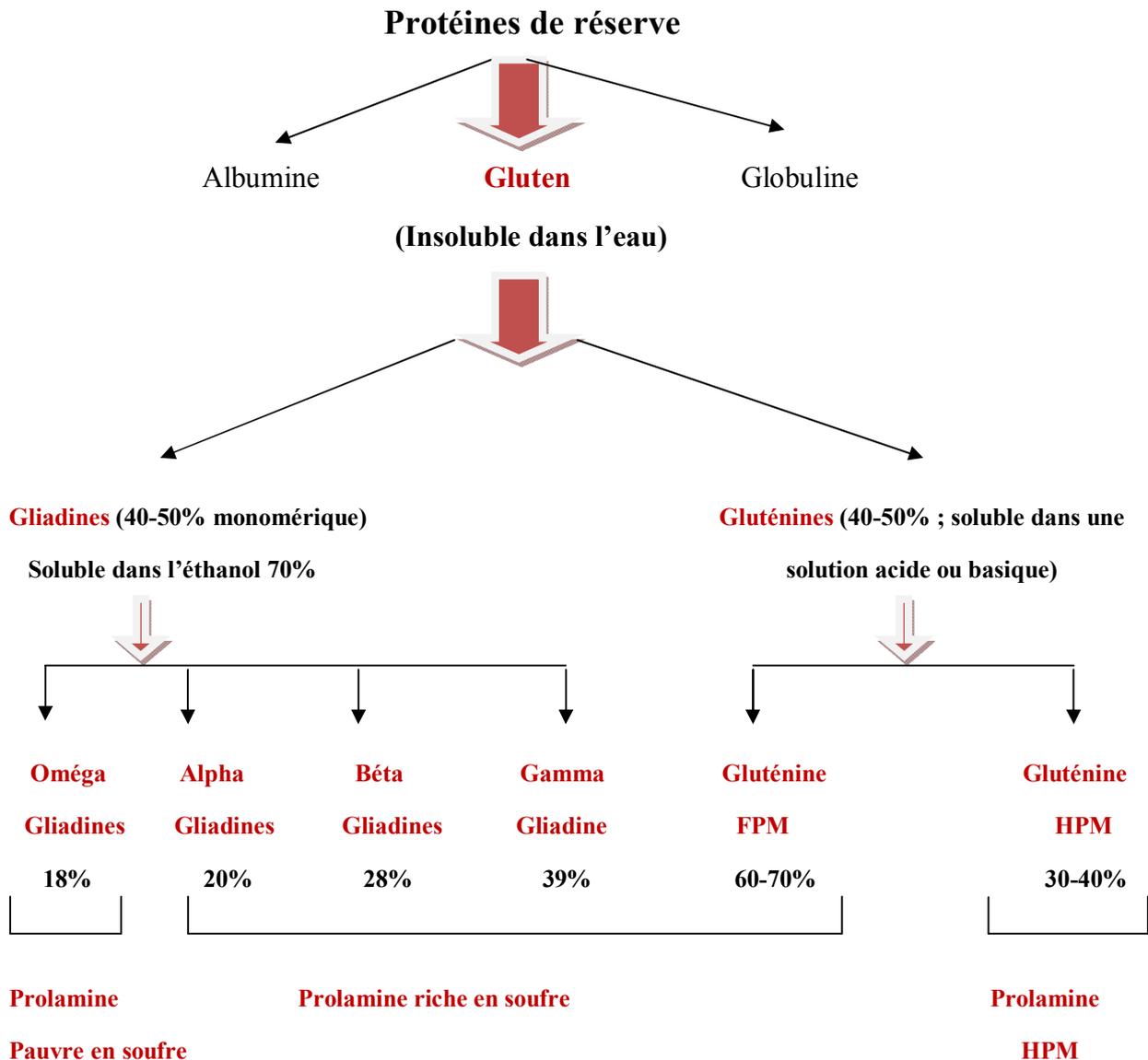
### **2-1-3-2) Les protéines de réserves (Gliadines et gluténines) :**

D'après Osborne (1907), Shewry et al. (1986) ; les gliadines et les gluténines sont des protéines appartenant à la famille des prolamines (riches en proline et glutamine).

Elles sont très polymorphes, leur masse molaire varie de 30 à 100 kDa. Les prolamines ont été classées selon leur richesse en acides aminés contenant du soufre (riche ou pauvre en soufre) et leur poids moléculaire (Molecular Weight), (figure 5) ou selon leur capacité à former des ponts disulfures intermoléculaires (gliadines et gluténines).

Les gluténines LMW et les gammas, bêta et alpha-gliadines sont assemblés dans le groupe des prolamines riches en acides amines soufrés. Par contre les omégas gliadines forment le troisième groupe de prolamines pauvres en acide amines soufrés, alors que le haut degré de polymérisation a permis aux gluténines de haut poids moléculaire HMW d'occuper une place unique, celles des prolamines HMW.

Ces prolamines ont la capacité de former des structures polymériques avec les SG-FPM et certaines gliadines par l'intermédiaire de ponts disulfures. La masse du réseau polymérisé, en fonction des allèles de gluténines et gliadines va de 600000 Da à plus de 10000000 Da.



**Figure 5 :** Classification et nomenclature des protéines de réserves (Shewry et al., 1986)

- **Les gliadines :**

Les gliadines sont des protéines caractérisés par leur solubilité dans l'éthanol, elles occupent près de 40 à 45% des protéines totales avec un poids moléculaire compris entre 30000 et 80000 daltons (Branlard, 1999).

Elles présentent le grand polymorphisme selon les variétés que les gluténines et forment un groupe de prolamine hautement hétérogène. Ce polymorphisme est un moyen important d'identification variétale (Evans et al., 1975 ; Branlard et al., 1985). Trois groupes sont distincts selon leurs mobilités après la séparation électro phorétique en milieu acide à savoir : les a/b, les g, et les w-gliadines qui présentent respectivement 44-60 %, 30-46 %, et 6-20 % des gliadines totales (Amélie, 2007).

Les gliadines sont responsables de l'extensibilité et de la viscosité de la pâte (Eliasson et al., 1989), Sapirstein et al (2007) affirment que le blé dur qui possède la fraction 45-y Gliadine se caractérise par une meilleur qualité des pâtes et volume de pain et une force élevée de gluten que le blé dur qui contient que 42-  $\gamma$  Gliadines.

- **Les gluténines :**

Sont des polymères de protéines insolubles dans l'eau et les alcools, et représentent 40à50% des protéines totales.

Les gluténines sont divisées en deux groupes selon leur mobilité, les sous unités gluténines de faible poids moléculaire (LMW) (dont elles représentent 2/3 deux tiers de l'ensemble des gluténines) et ont une masse molaire comprise entre 30-70KDa et sont des prolamines très polymorphes, et les sous unités gluténines de haut poids moléculaire (HMW), sont les prolamines les moins polymorphes et ont une masse molaire comprise entre 100 et 160 kDa (Payne et al., 1979). Les gluténines sont responsables de l'élasticité et la ténacité du gluten (Khan et al., 1979), ils présentent une très forte aptitude à former des réticulations, en effet les propriétés da la pâte sont influencés par le rapport des gluténines et gliadines (Sissouns, 2008).

#### 2-1-4) Le gluten :

Le gluten est un élément de qualité du blé, c'est l'ensemble des gluténines et gliadines associés à d'autres constituants (glucides, les lipides, matières minérales), il rassemble 75-80% de protéines de réserves (tableau 6), 15-17% de glucides, 5-8% de lipides , et des éléments minéraux.

**Tableau 6 :** composition du gluten en fonction en pourcentage de matière sèche du blé (Dacosta,1986)

Constituants	Protéines	Glucides	Lipides	Matières minérales
Valeurs moyennes MS (%)	75-80%	15-17%	5-8%	0.6-1.2%

Il est responsable de l'élasticité, la cohésion, l'extensibilité et la ténacité des pâtes d'où ses propriétés rhéologiques. Le gluten est un facteur primordial pour la détermination de la qualité fonctionnelle de la semoule (Feillet, 2000). Il contribue à la force de la pâte et l'élaboration des réticulations par le biais de ses fractions gluténines (Nancy et al., 2001 cité par Messabihi, 2008).

#### 2-2) Les critères d'appréciation de la qualité du grain de blé 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 semoulièr jusqu'à l'aptitude à la transformation (Proceddu, 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. Donc il serait

intéressant de créer des variétés convenant à la fabrication de pains de fort volume, afin de disposer de débouchés de rechange en cas de surproduction (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 :

**Le taux de moucheture :** est une tache brune du péricarpe causée par des champignons, se traduit par une diminution de la qualité commerciale des semoules à cause de la présence de points noirs dans les semoules, qui diminuent leur qualité commerciale.

**Le taux de mitadinage:** c'est un accident physiologique provoquant un changement de la texture de l'albumen. Cependant, pour satisfaire à la demande de l'industrie, le blé dur idéal doit être vitreux et non farineux. L'état farineux (opaque) pénalise la valeur semoulière (Anonyme, 2006).

**Le calibrage:** permet de classer la grosseur des grains en 3 fractions une fraction inférieure 2.2 mm; une fraction inférieure 2.5mm et une fraction inférieure 2.8mm.

Outre, le poids spécifique et l'humidité des grains et le taux des protéines.

Kellou (2008), a fait un sondage auprès opinion des chefs d'entreprises transformateurs du blé en Algérie dont le but est d'analyser le marché Algérien ; pour les critères techniques de qualité déterminant l'achat de blé, 54% des entreprises jugent que le poids spécifique, l'humidité et les impuretés sont les meilleurs critères déterminants dans leur achat.

Abecassis et al. (1996) ont affirmé que le blé dur idéal pour un semoulier doit posséder les caractéristiques suivantes : gros et Vitreux, ayant des enveloppes fines et une faible teneur en matières minérales, riche en protéines, possédant un gluten ferme et élastique et contient beaucoup de pigments caroténoïdes mais peu d'activités lipoxygénasiques et peroxydasiques.

Le taux des protéines est connue comme l'élément important de la qualité, il a une influence directe sur la qualité des pâtes et pain (Sissou, 2008).

### **2-3) Les principaux débouchés du blé dur :**

Essentiellement destiné à l'alimentation humaine, le blé dur a pour principaux débouchés :

#### **2-3-1) les semoules :**

La semoule est définie comme étant le produit obtenu à partir des grains de blé dur (*Triticum durum*) par un procédé de mouture au cours duquel le son et le germe sont essentiellement éliminés et le reste est broyé à un degré de finesse adéquat (AFNOR, 1991).

La consommation moyenne de semoule est de 52,2 kg par habitant et par an (kellou, 2008), les produits les plus demandés correspondent à des semoules pures de couleur dorée et présentent une granulométrie homogène.

Leur composition chimique est étroitement liée à celle de blé dur et au diagramme de mouture (nombre de passages d'extraction). Elle contient 10 à 16,5% des protéines dont 80 à 85% sont des protéines de réserve et 80% de glucides dont 78% sous forme d'amidon (amylose et amylopectine) et 2% sous forme de sucres réducteurs. Des pentosanes avec un pourcentage de 1,5 à 3% sont des arabinoxylanes (polymères de xylose) possédant une propriété de gélification exceptionnelle et des oxydases jouant un rôle important dans la couleur jaune des pâtes alimentaires (Christèle-Icard, 2000 cité par Barkouti, 2012).

Il existe différentes catégories de semoules, chaque catégorie est obtenue par une succession de plusieurs broyages et classées en fonction de leur grosseur.

En Algérie, les différentes catégories de semoules sont:

**1) Semoules grosses (SG) :** la dimension des particules est comprise entre 900 à 1100 $\mu$ m, destinées aux usages domestiques.

**2) Semoules grosses moyennes : (SGM) :** comprise entre 550 à 900 $\mu$ m, destinées à la fabrication de la galette, du couscous.

**3) Semoules sassées super extra (SSSE) :** 190 à 550 $\mu$ m, destinées à la fabrication des pâtes alimentaires.

**4) Semoules sassées super fines (SSSF) :** de 140 à 190 $\mu$ m, ces semoules proviennent des couches périphérique du grain (Madani, 2009).

Pour les critères de qualité déterminant la valeur marchande du blé, 100 % des entreprises transformatrices du blé en Algérie déclarent que l'indice de coloration jaune est le premier critère de choix et a une grande importance pour les utilisateurs (consommateurs) ; ils ont justifié ça par l'expérience et le savoir faire des consommateurs ; plus la semoule est jaune et dorée plus, meilleure sera sa qualité gustative et la couleur des produits finaux. Le taux de gluten est le 2<sup>ème</sup> critère en termes d'importance lors de l'achat des semoules. En effet, plus la semoule a une forte teneur en gluten plus la qualité des produits finaux sera meilleure notamment dans la fabrication des pains traditionnels algériens. La teneur en cendre est le 3<sup>ème</sup> critère (kellou, 2008).

A ces critères s'ajoute, le rendement en semoule qui est un indicateur de la qualité semoulière, c'est-à-dire le poids de semoule rapportés au poids du blé mis en œuvre

La qualité semoulière est conditionnée par la teneur en protéines, elle-même liée à la vitrosité du grain, et leur grosseur (calibrage) et ainsi le taux de cendre (Madani, 2009).

### **2-3-2) les pâtes alimentaires :**

En Algérie, la consommation de pâtes alimentaires est de l'ordre de 3 kg par an, cette quantité est relativement faible en comparaison à celle de la Tunisie (15.26 kg). Les principales variétés produites par l'industrie sont :

Les pâtes pleines : préparées par extrusion (vermicelles, spaghetti, nouilles, tagliatelles)

Les pâtes creuses extrudées (coudes, coquille, coquillettes)

Les pâtes roulées ou découpées (langue de oiseau, lettres, caractères, etc.)

Ces variétés sont classées en 3 familles qui sont (kellou, 2008) :

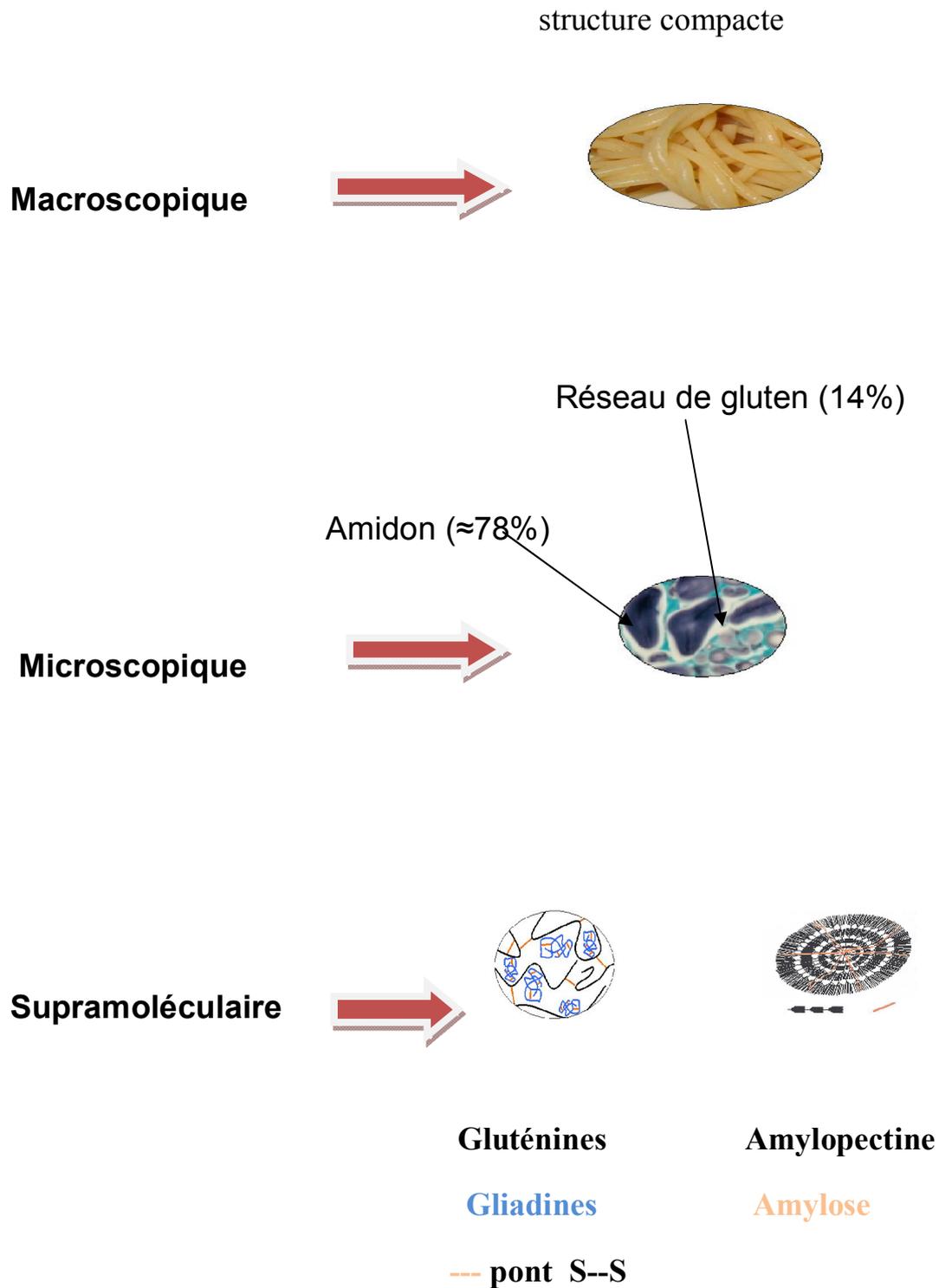
les pâtes longues, les pâtes courtes et les pâtes potages avec une production de 20%, 45% 35% respectivement.

Certains fabricants de pâtes alimentaires mélangent les grains ou semoules de différentes variétés de blé dur pour maintenir une force de gluten et des produits finis à des coûts de production moindres (Dexter, 2008).

La structure de la pâte alimentaire semble être un réseau de gluten, composé par des protéines de réserve, gliadines (protéines monomériques) et gluténines (protéines agrégées par des liaisons disulfures) (figure 6).

La valeur pastière rassemble deux notions bien distinctes (Madani, 2009), d'une part l'aptitude des semoules à être transformées en pâtes et d'autre part l'aspect des pâtes cuites ; L'aspect des pâtes alimentaires est déterminée par plusieurs facteurs comme la moucheture (Anonyme, 2006) et les indices de coloration, outre la teneur en protéines et la qualité du gluten qui sont des facteurs biochimiques liés à la qualité pastière. La valeur pastière est évaluée par la teneur en gluten et le viscoélastographe, laquelle est associée à la notion de qualité culinaire des pâtes.

Les différences de qualité culinaire sont liées à la quantité et à la qualité du gluten et sont sous la dépendance de plusieurs critères dont : la capacité de fixation d'eau ; le temps et les pertes à la cuisson (Anonyme, 2000).



**Figure 6 :** Structure macroscopique et microscopique d'une pâte alimentaire (Micard et al., 2009).

### 2-3-3) le couscous :

Le couscous est un produit alimentaire très ancien, inventé il y a environ 3 000 ans par les Berbères en Afrique du Nord (Abecassis et al., 2012). Le mot tirerait son origine de l'arabe classique « kouskous » et de berbère « seksou » qui désigne à la fois la semoule de blé dur, il a plusieurs appellations au sein des familles algériennes à savoir « taâm » qui signifie nourriture ou « berboucha » .

Selon la norme AFNOR (1995), le couscous est un aliment constitué exclusivement de semoule de blé dur et présentant les caractéristiques spécifiques du blé dur (*Triticum durum*), dont les éléments sont agglomérés en ajoutant de l'eau potable et qui a été soumis à des traitements physiques tels que la cuisson et le séchage.

**Tableau 7 :** Composition biochimique du couscous moyen industriel et sa semoule

(Hebrard, 2002)

Composition	Semoule	Couscous industriel moyen
Teneur en eau (g / 100 g de produit)	14.5±0.4	9.8±0.3
Teneur en amidon (g / 100 g de matière sèche)	86.2±6.0	85.6±6.0
Teneur en amidon gélatinisée (g / 100 g de matière sèche)	5.9±0.3	71.8±3.6
Teneur en protéines totales (g / 100 g de matière sèche)	13.5±0.5	13.5±0.5
Teneur en protéines solubles (g / 100 g de matière sèche)	12.7±0.6	2.2±0.1
Teneur en pentosanes totales (g / 100 g de matière sèche)	1.7±0.2	1.4±0.1
Teneur en pentosanes solubles (g / 100 g de matière sèche)	0.1	0

Au plan biochimique la composition du couscous est presque semblable à celle de leur matière première (semoule) (tableau 7). La différence qui existe est au niveau des protéines solubles et l'amidon gélatinisée. Le couscous présente une valeur faible en protéine soluble (2,2) et une teneur élevée en amidon gélatinisée (71,8) par rapport à la semoule (12,7 et 5,9 respectivement) ; d'où le changement physico chimique durant le processus de fabrication (Hebrard, 2002).

Le couscous est riche aussi en glucide (75g/100g), il participe à une part importante de l'apport énergétique de la ration (350 kcal / 100g de ms) (Dagher, 1991).

En Algérie, le type de semoule destinée à la fabrication du couscous est la SGM (Semoule Grosse Moyenne) dont l'écart granulométrique correspond à 550-900 microns-mètres).

Le principe de fabrication du couscous que ce soit artisanale ou industrielle se base principalement sur l'agglomération des particules fine et grosse de la semoule sous plusieurs étapes (séparation, hydratation par l'eau salé, roulage, tamisage et séchage). Pour le mode industriel, le couscous est préparé à partir d'un mélange d'un tiers de grosses semoules (630 à 800 µm) et deux tiers

de fines semoules (250 à 630 µm) sous une hydratation de l'ordre de 30 litres d'eau pour 100kg de semoule (Boudreau et al., 1992).

En ce qui concerne la qualité, un couscous de "bonne qualité" est un produit jaune ambré, d'une capacité d'absorption d'eau élevée, ses grains restent individualisés et fermes une fois hydratés (Guezlane, 1993).

Pour apprécier la qualité de couscous, deux aspects sont réunis à la fois à savoir ; l'aspect commercial dont la coloration et la granulométrie et l'aspect culinaire dont l'indice de prise en masse et l'indice de gonflement à différents temps.

- **Coloration du couscous**

La coloration du couscous est un critère très important pour les consommateurs. Selon (Debbouz et al., 1994), la couleur des grains de couscous dépend en grande partie de la couleur initiale de la semoule de blé dur. Elle se traduit par une couleur jaune ambré et une teinte claire dûe aux pigments caroténoïdes et flavonoïdes, l'enzyme lyoxygénasique et polyphénol-oxydasiques des variétés de blé dur.

- **Granulométrie**

Le couscous industriel est vendu sous trois types différents selon la taille de grain (fin, moyen

et gros). La description de granulométrie de couscous doit être envisagée par des courbes de distribution de dimension particulaire (Guezlane, 1993). AFNOR (1995) indique que la granulométrie de couscous doit être comprise entre 630 et 2000  $\mu\text{m}$ .

À l'état sec, la granulométrie du couscous doit être régulière et homogène, de couleur claire, jaune ambrée homogène, et pas d'odeur descriptible.

- **Indice de prise en masse par tamisage**

Mesurée par tamisage de cuisson traditionnelle du couscous, la détermination de l'indice est réalisée sur un tamis d'ouverture égale à 3150 $\mu\text{m}$  (Madani, 2009).

D'après Yettou et al., (1997), il correspond au pourcentage de prise en masse (collant) de couscous qui forme de gros agglomérats (>3 mm).

Les indices sont compris entre 8,2 à 32,6%. Les faibles valeurs de l'indice sont des indicatives d'un couscous de qualité supérieure (Ounane et al., 2006).

- **Indice de gonflement à différents temps**

L'indice de gonflement à chaud (100 C) et à froid (25 C°) est parmi les critères d'appréciation de la qualité de couscous, il présente la capacité d'hydratation du couscous cuit, c'est un test pratiqué souvent dans les usines pour contrôler la qualité des produits finis. (Madani., 2009).

La mesure de gonflement à différents temps correspond à la capacité d'absorption d'eau par les pâtes pendant la cuisson (Yettou et al., 1997).

Le temps de réhydratation du grain sec de couscous diminue lorsque les dimensions des particules de la semoule sont faibles. Debbouz et al. (1994) ont rapporté que les particules fines de semoule se réhydratent plus rapidement que les particules grosses de semoule.

L'indice de gonflement est calculé par les changements du volume apparent d'un échantillon de couscous une fois immergé dans l'eau froide (à 25 C°) ou chaude (à 100 C°).

Le couscous qui a une valeur élevée de gonflement montre une haute qualité culinaire dont les valeurs typiques de l'indice de l'absorption d'eau à 30 °C sont comprises entre 460 et 490 g d'eau/100g de couscous (Debbouz et al., 1994). De 280-320 ml d'eau/100 g de couscous à 25°C, et de 380-410 ml d'eau/100 g de couscous à 100°C (Guezlane., 1993).

### Chapitre (3) : Fertilisation du blé dur :

#### 3-1) Utilisation des fertilisants en Algérie:

La littérature est avare en ce qui concerne l'utilisation des engrais en Algérie. A cet effet, il nous a été impossible de connaître l'utilisation et les consommations des engrais par l'agriculture. Les informations disponibles concernent les agriculteurs engagés dans l'intensification et financés par les programmes PNDA/PNDAR. A ce sujet, le tableau 3.1, présente les doses d'azote et de phosphore recommandées en fonction de la pluviosité et des zones.

**Tableau 8 :** Doses d'azote et de phosphore recommandées en fonction de la pluviosité

Pluviosité	<400mm		400-600mm		>600mm	
	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>
Elément fertilisant						
Kg/ha						
Jachère travaillée	34	46	67	92		
Fourrages	34	46	67	92	100	92
Légumes secs			67	92	100	92
Pomme de terre Irr.			34	46	67	92
Blé	34	46	37	46	100	92

INVA-ITGC, 1997.

Selon Djenane (1992), pour la période 1983-91, les engrais les plus utilisés sont l'ammonitrate (33,5 pour cent), les TSP, cependant les engrais composés NPK, PK et DAP sont d'usage aléatoire. Par ailleurs, les différentes contraintes qui ont caractérisés le marché des engrais à savoir : l'indisponibilité des produits, le prix et les charges du transport ont eu des effets négatifs sur le niveau des consommations et des quantités apportées. Ajouté à cela, l'absence d'informations en matière de disponibilité de ces éléments dans le sol (rare sont les agriculteurs qui font appel à des analyses de sol), ni en fonction des propriétés du sol et des besoins nécessaires quantifiés par rapport aux rendements souhaités et ou réalisés.

Concernant l'utilisation de l'azote, les doses proposées ne sont généralement pas respectées et n'obéissent à aucune donnée du contenu initial des sols.

On ce qui concerne les trois dernières campagnes (2009/2010,2010/2011,2011/2012), les niveaux de fertilisations restent toujours faibles ; les superficies fertilisées en engrais de fond restent faibles par rapport aux superficies emblavées (12,34% en 2010, 16,65% en 2011 et 16,33% en 2012). Cette faiblesse est due probablement à l'indisponibilité du matériel d'épandage des engrais au moment opportun. La fertilisation de couverture n'a cessé d'augmenter pour ces trois dernières campagnes par rapport aux superficies emblavées, (12,72% seulement en 2010, passe à 23,56% en 2012). Malgré l'évolution, ces taux restent insatisfaisants, ils n'atteignent même pas les 50%. Cependant, les céréales restent sous fertilisées malgré les efforts déployés par l'état à travers le plan national de développement agricole et rural, la sensibilisation des agriculteurs (Hamadou et al., 2012).

### **3-2) L'application des fertilisants N P K (cas du blé) :**

#### **3-2-1) Application de P et K :**

Le potassium paraît accroître le pouvoir assimilateur de la feuille, donc l'élaboration des glucides et il facilite la migration de ceux-ci vers les organes de réserve ainsi que la transformation de l'azote minéral en azote protidique. Une carence en cet élément se manifeste d'abord sur les feuilles âgées, qui sont d'abord d'un vert bleuté, puis jaunâtre et blanchâtre, tachées à la pointe et sur les bords, puis se dessèche entièrement (Clement et al., 1975).

Le phosphore joue un rôle primordiale surtout dans la croissance, et le développement (fécondation, fructification, maturation, constitution des réserves), c'est un facteur de

précocité (une insuffisance accroît les risques d'échaudage), il peut améliorer la résistance au froid (Belaid, 1986).

### **3-2-2) Application de l'azote (N):**

L'atmosphère contient près de 78 % de l'azote moléculaire  $N_2$ , dans notre environnement l'azote est plus complexe car il comporte un grand nombre de formes minérales ( azote moléculaire  $N_2$ , ions nitrite  $NO_2^-$ , nitrate  $NO_3^-$ , ammonium  $NH_4^+$ , oxyde  $NO_2$  ), des acides et des petites molécules organiques, ( acides aminés, urée, acide urique... ), dont la plupart des plantes supérieures n'absorbent l'azote que sous formes anions  $NO_3^-$ , et des cations  $NH_4^+$  ( Serge et al., 1998 ).

L'azote est le premier engrais utilisé en agriculture dans le 19<sup>ème</sup> siècle (Hawkesford, 2014), les engrais azotés sont appliqués depuis plus de 150 ans parallèlement aux progrès de la sélection génétique et les itinéraires techniques dont le but est d'atteindre des rendements élevés pour assurer théoriquement à faible coût les ressources alimentaires de presque toute l'humanité (Morot-Gaudry, 1997).

L'azote est un facteur de la production végétale, il occupe une place centrale dans tous les processus biologiques et joue un rôle déterminant au niveau du rendement.

Cependant, le potentiel d'une culture est déterminé d'abord par les facteurs génétiques et environnementaux (potentiel sol, climat, lumière, température) l'azote intervenant pour soutenir l'expression de ce potentiel (Christiane, 1999).

L'azote est un élément fertilisant qui joue un rôle primordial dans le métabolisme des plantes, c'est le constituant numéro 1 des protéines, c'est un facteur de croissance et de qualité (teneur en protéine des céréales par exemple) (Mazoyer et al., 2002). Des résultats d'essais révèlent que le rendement et le taux de protéine augmentent linéairement pour des doses d'azote

croissantes. Il était établi, que les résultats d'essais montrent que la dose de 34 unités favorise le rendement en grains alors que la dose de 67 unités favorise la biomasse et donc la production de matière sèche (FAO, 2005).

Dans le cas du blé, l'azote intervient dans plusieurs stades du cycle végétatif. Au tallage, il agit sur la première composante du rendement c'est à dire l'augmentation de nombre de talles par mètre carré. Au stade montaison, et floraison il agit respectivement sur l'allongement de la tige et intervient dans la fécondation en diminuant l'avortement des fleurs. Alors que, durant le remplissage du grain, cette phase est marquée par la migration de l'azote des organes végétatifs vers les grains. Une forte fumure azotée provoque une diminution de poids de mille grains (PMG) et un déséquilibre entre les matières organiques (glucides, protide) aboutissant à la verse. A l'inverse une carence, conduit à une réduction du nombre de grains par épis (Belaid, 1986).

Les exigences du blé dur (*Triticum durum Desf.*) sont plus importantes que celles du blé tendre, il faut 3.5 kg d'azote pour produire un quintal de grain chez le blé dur et 3 kg pour le blé tendre (Christiane et al., 2005). Du stade "épi 1 cm " jusqu'à la floraison, il y a élongation des entre-nœuds et augmentation de la taille des feuilles. Pendant cette étape les besoins azotés de la culture sont les plus importants et doivent être satisfaits pour ne pas pénaliser le rendement (Gate, 1995). D'après Fink (1982), une moitié des exigences est absorbée après la floraison, quand la fertilisation azotée est intensive, pendant la phase de remplissage, la plante absorbe relativement peu d'azote, de l'ordre de 20p .100 de la quantité totale à la récolte (Gate, 1995).

A cet égard les doses de l'azote à apporter doivent être raisonnées en fonction de la plante, de la pluviométrie, du type de sol et du précédent cultural. Pour le blé, il est recommandé d'apporter en fonction de la pluviométrie les doses suivantes (tableau 3.2).

**Tableau 9 :** Doses d'azote préconisées par l'Institut Technique des Grandes Cultures : blé (ITGC, 2013).

Pluviométrie Mm/an	Quantité et stade d'apport de l'engrais azoté (qx/ha)	
	Sulfate d'ammonium 21%	Urée 46%
Supérieur ou égale à 600 mm	3 q/ ha fractionnés en : *1.5q/ha au semis *1.5q/ha au stade début tallage	1.5q/ha fractionné en : *0.75q/ha au semis *0.75q/ha au stade début tallage
Entre 400 et 600 mm	2q/ha fractionnés en : *0.5q/ha au semis *1.5 q/ha au stade début tallage	1q/ha fractionné en : *0.30q/ha au semis *0.70q/ha au stade début tallage
Inférieur à 400 mm	1.5q/ha au stade début tallage	1q/ha au stade début tallage

### 3-3) Effet de l'azote comme élément majeur sur le blé dur :

#### 3-3-1) Effet sur le rendement :

Le blé dur comme les autres céréales passe par plusieurs stades durant son cycle de développement, ses besoins en azote diffèrent d'un stade à l'autre. L'azote est un facteur limitant en matière de rendement même si les autres facteurs sont présents et en optimum (Halilat, 1993). Le rendement en grain est conditionné par la maîtrise de ses composantes. En effet, l'influence de l'azote se manifeste sur la première composante du rendement par l'augmentation du nombre de talles par mètre carré (Toutain, 1979).

Bahloul (1989) a rapporté que toute carence en azote au redressement floraison provoque une régression des tiges et diminue la fertilité des épis.

Pour le nombre des grains par épi, Bahloul (1981) a montré qu'il augmente avec les doses croissantes de l'azote, et l'augmentation de ce dernier réduit la stérilité des épillets de la base de l'épi (Vez, 1975).

Pour le dernière composante, Hebert (1975) déclare que la teneur en azote des grains est un bon indicateur de leur alimentation en poste anthèse, et a un effet sur le poids de milles grains.

Cossani et al. (2012) ont affirmé que la consommation d'azote est étroitement et positivement liée au rendement et biomasse totale du blé dur.

### **3-3-2) effet sur la qualité :**

Les céréales absorbent l'azote pour le stockage des protéines dans les grains. Leur efficience optimal contrôle leur remobilisation durant la période de maturation des grains (Hawkesford, 2014). La qualité d'un blé dur est essentiellement déterminée par les effets conjugués du génotype et les facteurs agro-climatiques. La variété est un facteur important dans la détermination de la qualité. Toutefois, l'expression du potentiel génétique est étroitement liée au mode de conduite de la culture dont la fertilisation azotée (Abdellaoui et al., 2008).

La disponibilité ou la carence des éléments nutritifs ont des répercutions variées sur la composition protéique. La fertilisation azotée joue le rôle primordiale dans l'accumulation des protéines dans les grains.

Plusieurs études ont montrés que la fertilisation azotée influence significativement la teneur en protéines des grains qui détermine la qualité des produits (Hunter et al., 1973). En plus de ça plusieurs auteurs ont affirmés que le mode de fractionnement de la dose d'azote affecte aussi le teneur en protéines (Peltonen, 1995) ; (Martin et al., 1992).

La fertilisation azotée n'intervient pas seulement sur la quantité des protéines mais aussi comme un paramètre déterminant le taux de ses fractions, surtout glutinine et gliadine (Kunger et al., 1985), un grand effet a été remarqué par Herber et al. (1998) sur les gliadines que les glutinines notamment sur la majorité des types de protéines ( $\alpha$  gliadines,  $\gamma$  gliadines,

SGFPM glutenines ) en comparaison avec les types les moins représentés (w gliadines ,SGHPM subunits).

Cependant, (Dexter et al., 2001) suggèrent que dans l'endosperme vitreux une teneur élevée en gliadines permettrait une meilleure adhérence des protéines aux granules d'amidon pendant la dessiccation du grain donnant une structure compacte de l'endosperme.

Abdellaoui et Mariche (2008), ont montré sur deux variétés de blé dur, traitées par plusieurs niveaux d'azote que les doses élevées d'azote diminuent le taux de mitadinage et augmentent les autres paramètres liés directement à la qualité du blé, à savoir la coloration brune et jaune, teneur en protéines, gluten sec, la capacité d'hydratation, le volume de sédimentation, ainsi que le taux d'extraction des semoules, et par conséquent sur la qualité des pâtes alimentaires (viscoélasticité, les tests de cuisson et la capacité de fixation de l'eau).

Lebrum et al (2001) indiquent que la relation qui existe entre la teneur en protéines et la qualité technologique d'un blé est spécifique à chaque variété. Il existe des variétés dont la qualité augmente avec l'augmentation de la teneur en protéine alors que c'est le contraire pour d'autres.

## **ETUDE EXPERIMENTALE**

## Chapitre (4) : Matériel et méthode

### 4-1) Site de déroulement de l'essai :

L'expérimentation a été conduite durant la campagne agricole 2012/2013 au niveau de la station expérimentale ITGC de Sétif, altitude 958 m, latitude 36° 8 N et longitude 5°20 E (Guendouz et al., 2011).

Le site est situé à 4 km au sud ouest de la ville de Sétif. Il est caractérisé par :

- Des hivers froids
- Une pluviométrie irrégulière,
- Des gelées printanières très fréquentes
- Des vents chauds et desséchants en fin de cycle de la céréale (Bahlouli et al., 2009).

### 4-2) Caractéristiques pédoclimatiques du site :

#### 4-2-1) Caractéristiques climatiques :

**Tableau 10** : Pluviométrie (Cumul Mensuel en mm : 2000/2012)

Année	Sep	Oct	Nov	Dec	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Juin	tot
2000	39.4	47.3	15.2	61.3	5.9	5.7	21.5	28.8	61.9	20.3	307.3
2001	47.2	14.4	37.1	8.4	79	20.1	8.6	13.2	19.3	0	243.7
2002	4.3	10.1	100.1	67.4	22.7	24	29.5	8.8	24.2	1.5	292.6
2003	30	69.5	14	86.5	115.8	29	37.6	63.2	43.8	59.4	548.8
2004	17.4	37.4	50.2	101.3	42.5	18.8	34.1	68.8	73.6	16.7	460.8
2005	26.9	22.7	68.7	52.3	28	39.8	18	50.6	2.2	35.9	345.1
2006	52	1	9.1	45	61.8	37	9.8	42.4	88	7.4	353.5
2007	79.5	25.3	16.5	6	10.2	25	101.8	88.6	28.2	30	411.1
2008	44.6	42.4	42.4	27	10	19.3	48.9	21.3	75.8	15.2	346.9
2009	78.6	13.1	28.8	33.6	69.3	41.3	27.5	77.5	3.4	6.8	379.9
2010	3.4	45.2	47.8	20	36.2	46.5	44.7	52.1	67.4	17.8	381.1
2011	15.2	39.8	32.6	19.4	13.3	121	33	73.8	33.8	17.4	399.3
2012	16.4	26.8	76.4	9.6	44.8	53.8	14.2	86.2	6.6	16.4	351.2
<b>Moy</b>	35	30.4	41.5	41.4	41.5	37	33	51.9	40.6	18.8	<b>370.8</b>

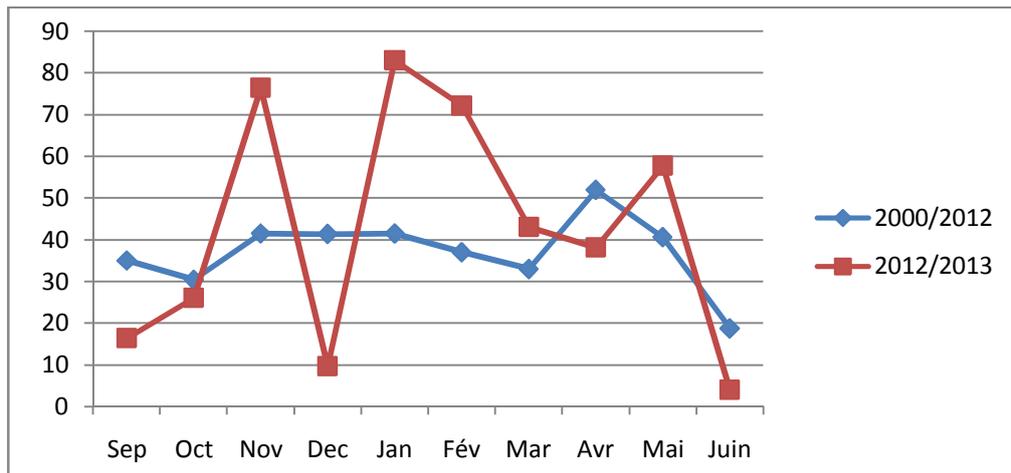
**Tableau 11** : Pluviométrie. 2012/2013

Mois	Sept	Oct	Nov	Déc	Jan	Fév	Mars	Avril	Mai	Juin	Cumul (mm)
<b>Pluv mm</b>	16.4	26.08	76.4	9.6	83	72.2	43	38.2	57.8	4	<b>422.68</b>

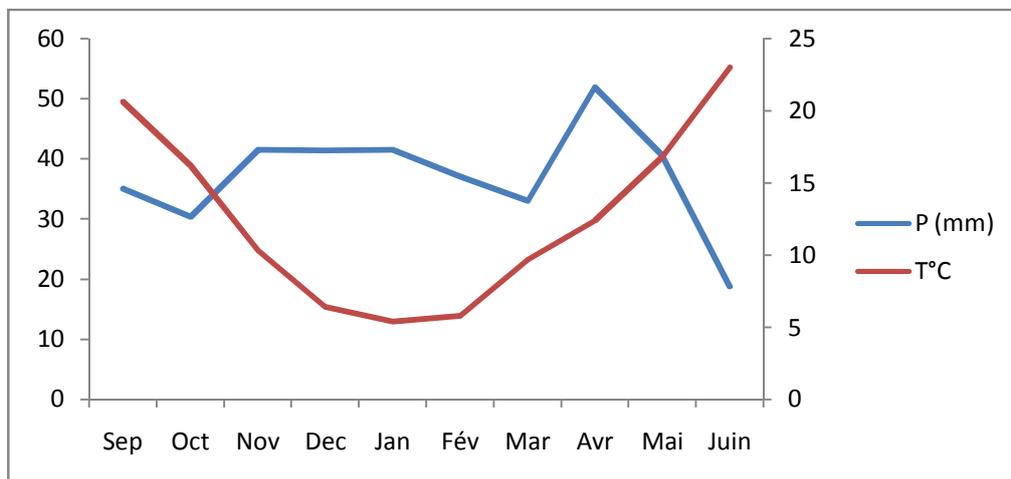
Le climat de la zone de Sétif est de type semi aride, renfermant deux grandes saisons. La saison de l'été est sèche et chaude suivie d'un Hiver froid et pluvieux, avec des températures minimales qui peuvent atteindre des niveaux très bas jusqu'à  $-8^{\circ}\text{C}$ , la croissance des plantes durant l'hiver est très faible. L'irrégularité intra et inter annuel de la pluviométrie, le gel tardif de printemps restent les deux principales contraintes de la production des céréales au niveau de la zone.

Durant la campagne agricole 2012/2013, le volume pluviométrique enregistré était de l'ordre 422.68 mm, du mois de septembre au 30 du mois de juin encadrant le cycle végétatif de la céréale (tableau.11). Cette quantité peut être considérée comme importante par rapport à la moyenne sur douze ans qui est de 370.8mm (tableau 10). La lecture des données pluviométriques révèle un début de campagne un peu pluvieux (28,12%), suivi d'un hiver très pluvieux (38,98%). A la fin de la campagne qui correspond à la période de remplissage du grain, on constate qu'il a été humide (32.88%) par rapport à la quantité enregistrée de septembre à juin (tableau 11). A ce sujet, il est important de rappeler que l'engrais azoté a été apporté le 07/03/2013 et le 17/04/2013, deux périodes durant lesquelles nous avons enregistré 43 et 38.2 mm d'eau respectivement pour les mois de Mars et Avril. Cette pluviométrie enregistrée est suffisante pour l'application de la fertilisation et permet la décomposition de l'engrais azoté (Urée). La pluviométrie de la campagne d'étude comparée aux moyennes sur douze ans indique un déficit en début et fin de la campagne (septembre octobre décembre et juin), durant le reste de la campagne la pluviométrie épouse une courbe en dents de scie avec des sommets enregistrés en novembre, janvier et mai (figure 7).

La moyenne des températures enregistrées durant la campagne d'étude est de  $13,35^{\circ}\text{C}$  (tableau 13), valeur proche à la moyenne générale des douze dernières années (2000/2012) qui est égale à  $12,68^{\circ}\text{C}$  (tableau 12).



**Figure 7 :** Pluviométrie de la campagne 2012/2013, comparée aux données moyennes sur 12 ans 2000/2012



**Figure 8 :** Courbe ombro thermique, période 2000/2012

L'étude de la courbe ombro thermique pour la période 2000/2012 (septembre à juin) (figure 8) indique que la région se caractérise par la présence de deux périodes de sécheresse. La première est localisée en sep-octobre et la deuxième allant de fin mai à juin, et une période humide allant de novembre à la fin du mois de Mai.

**Tableau 12 :** Température Moyenne Mensuelle sous abri de la période (2000/ 2012)

Année	Sep	Oct	Nov	Déc	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Jui	tot
2000	21.4	13.6	10.3	8	4.1	7.8	10.7	13.6	19.8	22.3	<b>131.6</b>
2001	21	19.9	9.3	5.5	5.9	5.8	13.3	12.1	16.6	24	<b>133.4</b>
2002	20.2	16.9	9.9	7	5.8	7.9	10.5	13	18.1	24.7	<b>134</b>
2003	20	16.4	10.2	5	4.6	3.9	9	12.7	17.1	24.3	<b>123.2</b>
2004	20.5	18.4	8.4	5.7	5.5	8.2	9.8	10.6	13.2	21.7	<b>122</b>
2005	19.9	16.4	9.5	4.7	3.5	2.8	9.8	12.2	19.7	23.2	<b>121.7</b>
2006	19.7	18.4	11.2	6.6	3.6	4.8	9.9	14.8	19.4	23.9	<b>132.2</b>
2007	20.4	15.4	8.6	5.3	7.7	7.6	7.6	11.9	16.5	23.6	<b>124.6</b>
2008	20.8	14.9	14.9	8.1	6.8	7.5	8.6	12.9	17.3	21.5	<b>133.3</b>
2009	19.4	15.1	11.2	7.9	5.1	4.6	8.6	9.2	18	23.6	<b>122.7</b>
2010	20.4	15.2	9.4	6.4	6.1	7.3	9.9	12.9	14.2	21.4	<b>123.2</b>
2011	22.1	14.8	10.6	6.4	6.2	5.1	8.5	13.9	16.2	21.1	<b>124.9</b>
2012	22.2	15.4	11.3	6.8	5.59	2.45	9.95	11.7	12.5	24.8	<b>122.7</b>
<b>moy</b>	<b>20.6</b>	<b>16.2</b>	<b>10.3</b>	<b>6.4</b>	<b>5.4</b>	<b>5.8</b>	<b>9.7</b>	<b>12.4</b>	<b>16.8</b>	<b>23</b>	<b>126.8</b>

**Tableau 13 :** Températures. (2012/ 2013)

FDPS	Temp C <sup>0</sup>	Sept	oct.	nov.	déc.	jan	fév.	Mars	avril	mai	juin	moyenne C <sup>0</sup>
Sétif	T° moy	21.9	17.61	12.2	7.14	5.89	4.31	9.74	13.38	15.33	26.02	<b>13.35</b>

Le mois de février est le plus froid avec valeurs enregistrées de 8.43°C, 0.2°C, respectivement pour la moyenne mensuelle et la moyenne des minima. Inversement à cela les hautes températures sont situées durant le mois de juin de l'année (tableau 12). Par ailleurs, on relève 51 jours de gelées enregistrées (tableau 14), dont trois jours seulement en mois d'avril dans la première décade. Ce dernier facteur peut avoir des effets néfastes sur la formation des organes de reproduction des céréales notamment l'orge, et les autres variétés de blé dont l'épiaison intervient durant le mois d'avril. Pour notre expérimentation, l'effet de gelé est faible, parce que seulement 3 jours de gelées sont enregistrés durant les mois Avril, Mai, Juin avec 3, 0, 0 jours respectivement, ceci ne provoque aucun effet néfaste sur le remplissage et la formation des organes de reproduction.

**Tableau 14 :** Occurrences climatiques (nombre de jours)

FDPS	Gellée (jours)	Neige (jours)	Rosée (jours)	Sirocco (jours)
Sétif	51	17	48	/

#### 4 2-2) Caractéristiques pédologiques :

Le sol est formé sur des dépôts conglomératiques. Ce sont des sols moyennement profonds (40-70 cm), caractérisés par une texture fine argileuse à limono-argileuse et riches en calcaire avec une charge caillouteuse qui présente sur toute la profondeur composée essentiellement de galets, de gravillon et de débris de silex (Dekkiche et al., 2011).

#### 4-3) Protocole de l'essai :

##### 4-3-1) Matériel végétal utilisé :

Le matériel végétal est constitué de trois variétés de blé dur (*Triticum durum Desf.*).

##### 1) Bouselam :

C'est une variété d'origine ICARDA-CIMMYT, qui vient de connaître un début d'adoption dans les régions de Tiaret et Sétif.

**Pedigree:** Heider/MT/HO DZ- ITGC-Set IC D 86-0414-ABL -OTR -4AP -OTR -14AP -OTR

##### 2) Waha :

C'est une sélection provenant du matériel ICARDA-CIMMYT, qui est censée remplacer MBB dans les plaines intérieures et les hauts plateaux.

**Pedigree :** Plc 's'/Ruf 's'//Gta 's' /3/ Rolette CMI 17904 -3m -1y -1m -0y

##### 3) Mohamed Ben Bachir :

C'est une sélection généalogique faite à l'intérieur d'une population locale du blé dur à Ain Roua du nord de Sétif en 1938.

**Pedigree :** Sélection généalogique de la population locale de Ain Roua (Zerargui et al., 2010).

Les caractéristiques des variétés expérimentées sont :

**Tableau 15 :** Les caractéristiques morphologiques, culturales et qualitatives des trois variétés expérimentées (Boufenar et al, 2006).

Variétés	Waha	Boussalem	MBB
<b>Caractéristiques morphologiques :</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Compacité de l'épi</b></li> <li>• <b>Couleur de l'épi</b></li> <li>• <b>Hauteur de la plante à la maturité</b></li> </ul>	Demi-lâche à compact Clair ambré à roux  80-90 cm	Demi-lâche lache  90-100cm	Compact Roux  120cm
<b>Caractéristiques culturales :</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Alternativité</b></li> <li>• <b>Cycle végétatif</b></li> <li>• <b>Tallage</b></li> <li>• <b>Résistance :</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>-au froid</li> <li>-à la verse</li> <li>-à la sécheresse</li> <li>-Egrenage</li> </ul> </li> <li>• <b>Résistance aux maladies</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>-Rouille jaune</li> <li>-Rouille brune</li> <li>-Rouille noire</li> <li>-Piétin verse</li> <li>-Piétin échaudage</li> <li>-Oïdium</li> <li>-Septoriose</li> <li>-Fusariose</li> </ul> </li> </ul>	Hiver Précoce Moyen à fort  Tolérante Résistante sensible résistante  tolérante tolérante tolérante résistante sensible résistante moyennement résistant moyennement résistant	Hiver mi-tardif fort  bonne bonne bonne résistante  résistante résistante résistante résistante résistante moyenne résistante	Automne Tardif Moyen  Résistante Sensible Tolérante -----  Tolérante Sensible Sensible Sensible Tolérante Tolérante Assez sensible Assez sensible
<b>Conditions techniques :</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Date de semis</b></li> <li>• <b>Dose de semis (kg/ha)</b></li> <li>• <b>Fertilisation (U/ha)</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>-Azotée</li> <li>-Phosphatée</li> <li>-Potassique</li> </ul> </li> <li>• <b>productivité (rendement en grain optimal)</b></li> </ul>	Novembre à décembre  100-120  46-90 46-90 46  45qx/ha	Novembre à début décembre  130-150  46à70 46 46  38qx/ha	mi-octobre à la mi-novembre  120  46 46 46  20qx/ha
<b>Caractéristiques qualitatives :</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Poids de mille grains (PMG)</b></li> <li>• <b>Qualité semoulière</b></li> <li>• <b>Mitadinage</b></li> <li>• <b>Moucheture</b></li> </ul>	Moyen  Assez bon Résistante Résistante	Elevé  Blé correcteur Résistante résistante	Moyen  Bonne Résistante Résistante

#### **4-3-2) Dispositif mis en place :**

L'essai s'étale sur une superficie de 1666 mètres carrés (49 m de longueur et 34 m de largeur) ; il est conçu selon un dispositif en Split plot, il comporte 4 blocs chaque bloc contient 21 parcelles élémentaires (parcelle élémentaire, longueur = 5m; largeur = 1,2m) dont deux facteurs principaux sont étudiés (la variété et la dose de l'azote apporté) et un facteur secondaire (bloc).

**Facteur (1) :** 3 variétés de blé dur à savoir :

**V1:** Bousselam

**V2:** Waha

**V3:** Mohamed Benbachir (MBB)

**Facteur (2) :** dose d'azote apportée avec 7 niveaux à savoir :

**N0 : 0 U/ha (témoin)**

**N1 : 50 U/ha**

**N2 : 100 U/ha**

**N3 : 150 U/ha**

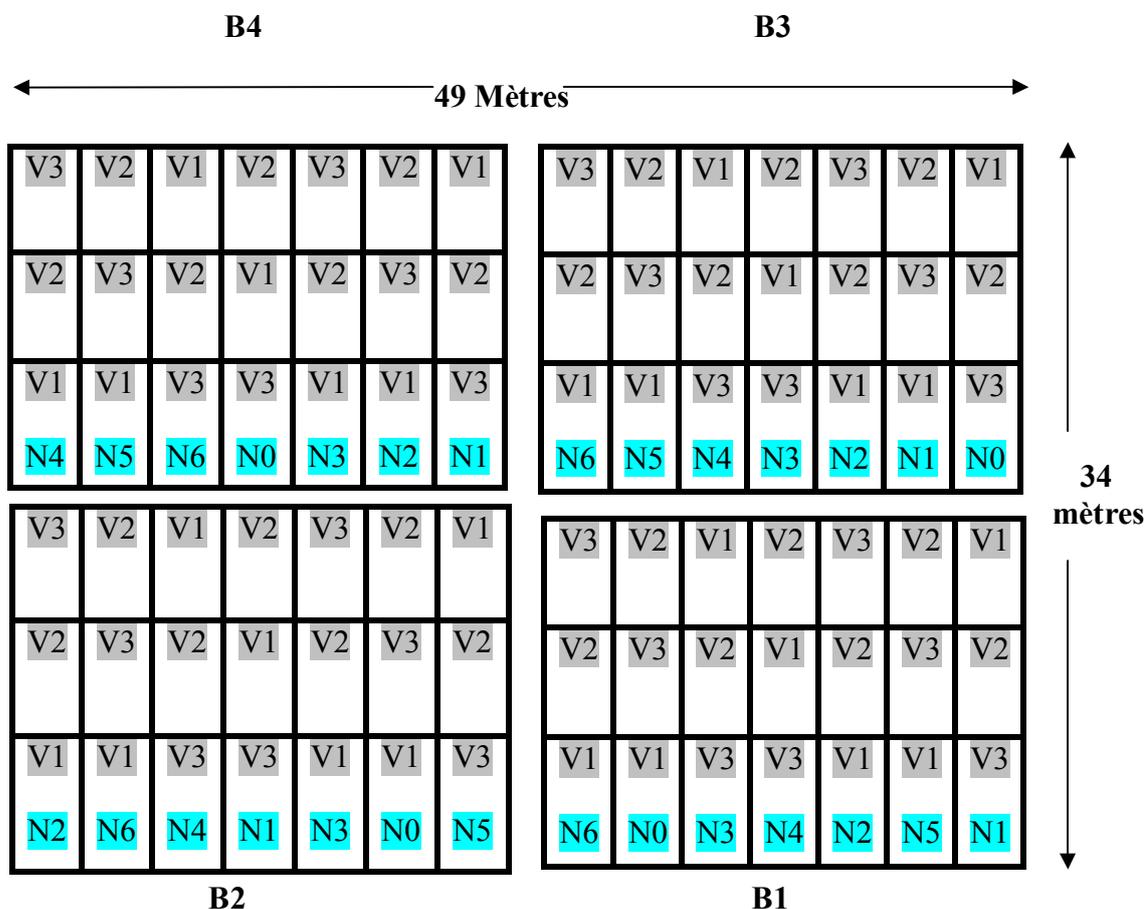
**N4 : 200 U/ha**

**N5 : 250 U/ha**

**N6 : 300 U/ha**

L'engrais azoté utilisé est l'Urée 46%, la quantité totale apportée a été fractionnée en deux doses ; la première a été appliquée le 07/03/2013 (stade talage-épie 1 cm), la deuxième dose a été appliquée le 17/04/2013 (stade début floraison). Ces doses représentent respectivement 1/3 et 2/3 de la dose totale apportée.

N



(Essai voisin « Semis direct Australiens »)

Surface de l'expérimentation = 1666 mètres carrés

**N0** = 0 U ; **N1** = 50U ; **N2** = 100U ; **N3** = 150U ; **N4** = 200U ; **N5** = 250U ; **N6** = 300U

**V1** = Bousselam

**V2** = Waha

**V3** = MBB

4-3-3) Conduite de l'essai :

- le précédent cultural :

Le précédent culturale est un pois fourragé : (variété : Seffrou)

- le travail du sol :

Le labour est effectué à l'aide d'une Charrue à Disque avec une profondeur de 25 cm suivi d'un passage de Cover Crop à 10 cm de profondeur et d'un passage de herse.

- **apport des engrais de fond** l'engrais de fond apporté est le MAP le 3-12-2012 avec une dose de MAP 80kg /ha

- **Le semis**

Le semis est réalisé le 12/12/2012 avec un semoir expérimental à 6 rangs, avec une densité de 300 grains/mètre carré.

- **Apport de l'azote**

L'engrais azoté utilisé est l'Urée 46%, la quantité totale d'azote apporté est fractionné en deux doses dont ; la première a été appliqué le 07/03/2013(stade tallage épie 1 cm), la deuxième dose a été appliquée le 17/04/2013, ces doses représentent respectivement 1/3 et 2/3 de la dose totale apportée.

- **Le désherbage**

Pour éliminer les mauvaises herbes, un désherbage chimique a été effectué le 29/03/2013 par un pulvérisateur 1200 Litres avec une combinée de dose de Grand Star 15g/ha et Brunby 0.75 li/ha.

- **Récolte**

La récolte a été effectuée à l'aide d'une moissonneuse batteuse expérimentale le 03/07/2013

#### **4-4) Analyse physico chimique des grains :**

##### **4-4-1) Rendement :**

Après la récolte, le rendement est calculé pour chaque parcelle élémentaire (longueur 5 mètres et largeur 1.2 mètres) à l'industrie SMID TELL de Sétif et converti en qx/ha.

##### **4-4-2) Poids de mille grains :**

Après le nettoyage de la récolte de chaque parcelle élémentaire (Variété, traitement), j'ai déterminé le PMG par le comptage de 1000 grains à l'aide d'un compteur des grains Numigral et puis, j'ai pesée de ces 1000 grains par une balance de précision au niveau de la station expérimentale ITGC de Alger. La détermination du poids de mille grains peut fournir une évaluation du degré d'échaudage, il est en fonction la variété et les conditions de culture (NA.730.1991.E, ISO 520).

##### **4-4-3) Poids spécifique :**

Le poids spécifique est la masse à l'hectolitre, j'ai calculé ce paramètre à l'aide du Niléma-litre à l'industrie SMID TELL, il correspond à la masse de blé contenu dans un hectolitre rempli de grains, d'impuretés et d'air interstitiel (NA, 1513/1990).

##### **4-4-4) Taux de moucheture :**

L'objectif est essentiellement commercial, la moucheture déprécie la valeur semoulière.

La détermination du taux de moucheture se fait sur un échantillon de 20 grammes de blé dur d'une manière visuelle, les grains mouchetés sont ceux qui présentent des colorations entre brun et noire dans d'autres endroits que le germe et sont exprimés en gramme de grains mouchetés par rapport à 100 grammes d'échantillons (Méthode BIPEA).

##### **4-4-5) Taux de mitadinage :**

Le mitadinage pénalise la valeur semoulière, la détermination du taux est effectué sur 300 grains, le test est effectué au niveau de l'ITGC de Alger, j'ai compté les grains mitadinés après les coupés transversalement à l'aide du Farinotome de Pohl (ISO, 532), le taux est

exprimé en pourcentage, ce dernier indique le nombre des grains partiellement ou entièrement farineux et calculé à partir de l'équation suivante :  $N = (n \cdot 100) / p$ ,

N : le pourcentage des grains mitadinés dans l'échantillon, n : le nombre des grains mitadinés dans l'échantillon, p : le nombre des grains examinés dans le farinotome

#### **4-4-6) Teneur en eau (grain et semoule):**

Il est déterminé par séchage de 5 grammes du produits (grains broyé, semoule) dans une étuve chopin à une température de 130 C° pendant deux heurs (Norme AFNOR 03-707) (ITGC de Alger).

#### **4-4-7) Protéines (grain et semoule) :**

La détermination de le teneur en protéine des grains et semoule à été effectuée sur le principe de spectrométrie proche infrarouge, 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) absorbent à des longueurs d'onde spécifiques égale à leur fréquence de vibration et passent ainsi d'un état fondamental à un état excité, c'est une technique rapide et non destructive, directement sur les grains entiers, et mesure le teneur en protéines avec une bonne précision (Frédéric et al., 2013).

Le teneur en proteines est calculé à l'aide un appareil infratec 1241, on a utilisé 500 grammes pour chaque échantillon récolté (après nettoyage) pour mesurer le taux des protéines grains, et 10 grammes de semoule (après la mouture des grains) pour déterminer le taux des protéines de semoule, les mesures ont été effectué au niveau de laboratoire de SMID TELL de Sétif.

#### **4-4-8) Cendres (grain et semoule) :**

Le teneur en cendres est effectué au niveau du laboratoire de l'industrie ERRIAD de Sétif, est un critère pour apprécier la pureté, il est en relation avec la pureté de la semoule, la teneur en

endre des grains et semoules signifie leurs taux en matière minérale, il donne une indication sur la quantité de matière minérale qui existe.

Il représente le résidu après l'incinération de 5 g d'échantillon (grains broyé, semoule) dans une atmosphère oxydante à une température de 550C° pendant 4 heures (jusqu'à la combustion complète) (NE.1.1.29/1985),

#### **4-5) Analyse technologique des semoules :**

##### **4-5-1) Préparation des semoules (nettoyage, conditionnement, mouture) :**

Après le nettoyage des grains, la 2<sup>ème</sup> opération consiste à conditionner à 14% d'humidité pendant 24 heures puis à 17% pendant 2 heures, la 3<sup>ème</sup> opération est la mouture qui consiste à l'isolement de la couche externe (partie extérieur des grains) à l'albumen amylicée à l'aide d'un moulin expérimental (Chopin), la préparation de semoule a été effectuée au niveau de laboratoire de l'ITGC Alger .

##### **4-5-2) Taux d'extraction des semoules :**

C'est la quantité de semoule extraite à partir de 300 grammes du blé et puis les résultats sont exprimés sur la base de 100 grammes (Laboratoire ITGC Alger).

##### **4-5-3) Coloration des semoules :**

Il s'agit d'apprécier la couleur de la semoule qui se caractérise par deux composantes l'indice de jaune et l'indice de brun à l'aide d'un colorimètre standard (Minolta CR 300), le test est effectué au niveau de laboratoire ITGC de Sétif ; les résultats sont exprimé dans le système L, a, b dans les conditions retenus par la commission internationale de l'éclairage (CIE) dont :

Indice de brun (IB)= 100-L et Indice de jaune (I J)=b

##### **4-5-4) Test de sédimentation SDS :**

C'est un test qui a pour objet de donner une indication globale sur la qualité du gluten, (Dick et al., 1983), il permet de classer les blés selon leur aptitude boulangère. Les volumes plus élevés montrent une bonne qualité des semoules, j'ai l'effectué au niveau ERRIAD de Sétif.

J'ai met 5 g de semoule dans une suspension avec 50 millilitres d'eau distillée dans une éprouvette graduée à 100 ml une agitation brutale de 15 secondes, puis j'ai laissé le contenu reposer pendant 2 minutes, puis la reprise de l'agitation analogues aux temps 2 et 4 minutes , après la dernière agitation rapidement on ajoute 50 ml de la solution SDS- acide lactique contenant (30g/ l de SDS et 20ml/ l d'acide lactique), puis on reprend l'agitation lentement 4 fois durant 15 secondes et on répète l'opération à 2 ; 4 et 6mn.

Enfin et après 20 minutes de repos, la lecture du volume de sédimentation obtenu dans l'éprouvette (l'indice est exprimé en ml) (Axford et al., 1979 cité par Santosh, 2012).

#### **4-5-5) Teneur en gluten humide et sec:**

Il donne une indication globale sur la qualité et la quantité des protéines (Anonyme, 2000).

Le gluten humide d'une farine de blé est la substance plasto-élastique composée principalement de gliadine et gluténine, la détermination de la teneur en gluten humide se base sur la préparation d'une pâte issue d'un échantillon de semoule, on pèse 10grammes et d'une solution salée (NaCl 2.5%) (NE. 124/1985), l'isolement du gluten humide se fait manuellement par lixiviation sous l'eau, la masse plastique issue représente le gluten humide et calculée suivant l'équation  $GH (\%) = m * 100 / 10$  (GH : gluten humide ; m : la masse en gramme de gluten humide), il est exprimé en pourcentage.

J'ai placé le gluten humide obtenu dans un appareil Glutork pendant 4 minutes pour la dessiccation rapide pour avoir le gluten sec (NA.736.1991, ISO 6645). Le pourcentage du gluten sec est calculé suivant l'équation  $GS (\%) = m * 10 / 100$  (GH : gluten sec ; m : est la masse

en gramme du gluten sec), le mesure de ce paramètre est effectué au niveau du laboratoire ERRIAD de Sétif.

#### **4-5-6) Taux d'hydratation :**

Le taux ou capacité d'hydratation (CH%), représente le pourcentage d'eau contenue dans le gluten humide, Il nous donne une indication sur la capacité du gluten à retenir l'eau.

$$\text{Taux d'hydratation} = \frac{\text{GH} - \text{GS}}{\text{GH}} \times 100$$

GH : gluten humide, GS : gluten sec

#### **4-6) Analyses Rhéologique au mixographe :**

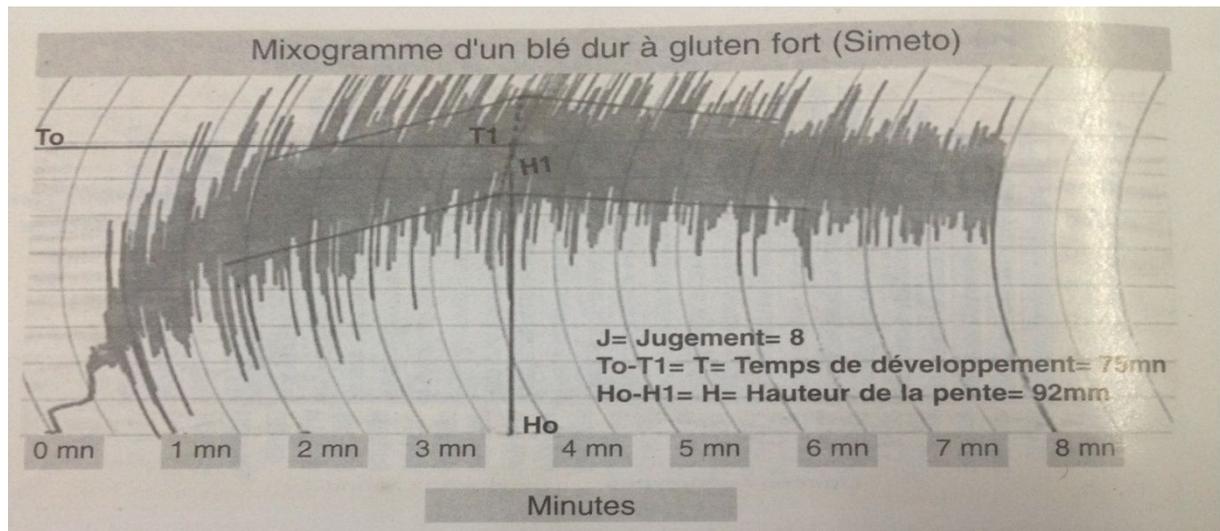
La méthode consiste à hydrater 10 grammes de semoule en fonction de la teneur en protéine selon le tableau (voir annexe 5), le pétrissage se fait dans un bol de pétrin pendant 8 minutes (NormeAACC54-40A).

Les paramètres qui régissent l'expression des résultats du mixographe sont :

- Le temps de développement ou temps de pétrissage (Mixingtime) qui caractérise la force de la pâte
- La hauteur de la pente (Height of slope) caractérise la tolérance de la pâte au pétrissage, correspond à la viscosité de la pâte
- Le jugement

Selon Mebtouche (1998), les deux premiers paramètres fournissent des valeurs objectives

Tandis que le troisième est subjectif, pour le calcul des paramètres (voir figure 9).



**Figure 9** : Mesure des paramètres du mixogramme (Mebtouche, 1998)

#### 4-7) Analyse statistique :

Les résultats obtenus ont été regroupés dans une feuille excell, l'analyse de variance de ces résultats a été effectué à l'aide d'un logiciel statistique (Costat V-6.1) pour étudier l'effet du facteur génotype, de la dose et l'interaction des deux facteurs. La matrice de corrélation a été établi à l'aide d'un logiciel Statisticat 7 pour l'ensemble des paramètres mesurés.

## **RESULTATS ET DISCUSSION**

## Chapitre (5) : Résultats et discussion

### 5.1) Paramètres physiques :

Pour les paramètres physiques analysés, nous avons 5 paramètres à savoir ; le rendement (RDT), le poids de mille grains (PMG), le poids spécifique (PS), le taux de mitadinage et la moucheture.

L'analyse de la variance des paramètres physiques a montré des effets significatifs, très significatifs à très hautement significatifs de la variété et de la dose pour les paramètres RDT, PMG, PS et Mitadinage et un effet très hautement significatif concernant l'interaction V\*D pour le mitadinage, alors que pour la moucheture, il n'ya pas un d'effet significatif.

Les résultats sont illustrés dans le tableau (16)

**Tableau 16 :** Analyse de la variance des paramètres physiques étudiés

Paramètres	CM				
	RDT	PMG	PS	Mitadinage	moucheture
Effet variété	105,20**	303,25***	6,88***	6,34**	1,58 ns
Effet dose	235,52*	25,66*	12,06***	323,42***	1,64 ns
Intéraction Variété * Dose	13,39 ns	22,05 ns	0,45 ns	7,26***	1,002 ns

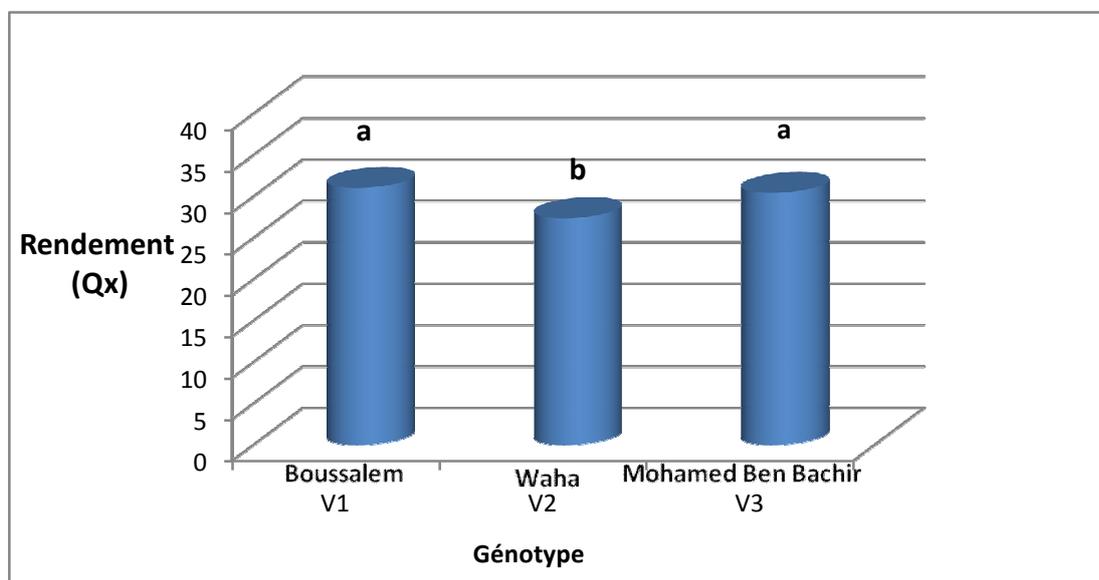
\* p<0.05 : significatif ; \*\* p<0.01 très significatif ; \*\*\* p<0.001 très hautement significatif

RDT : rendement, PMG : poids de mille grains, PS : poids spécifique

#### 5.1.1) Le rendement en grains (RDT) :

Le rendement en grain reste le premier souci des agriculteurs pour des raisons complètement économiques. A cet égard, l'utilisation des variétés à grand potentiel et l'application de l'itinéraire technique convenable demeure la seule solution pour obtenir les rendements souhaités.

L'analyse de la variance pour le rendement a révélé un effet hautement significatif pour le facteur variété d'une part, et un effet significatif pour le facteur dose d'engrais d'autre part (tableau 16).

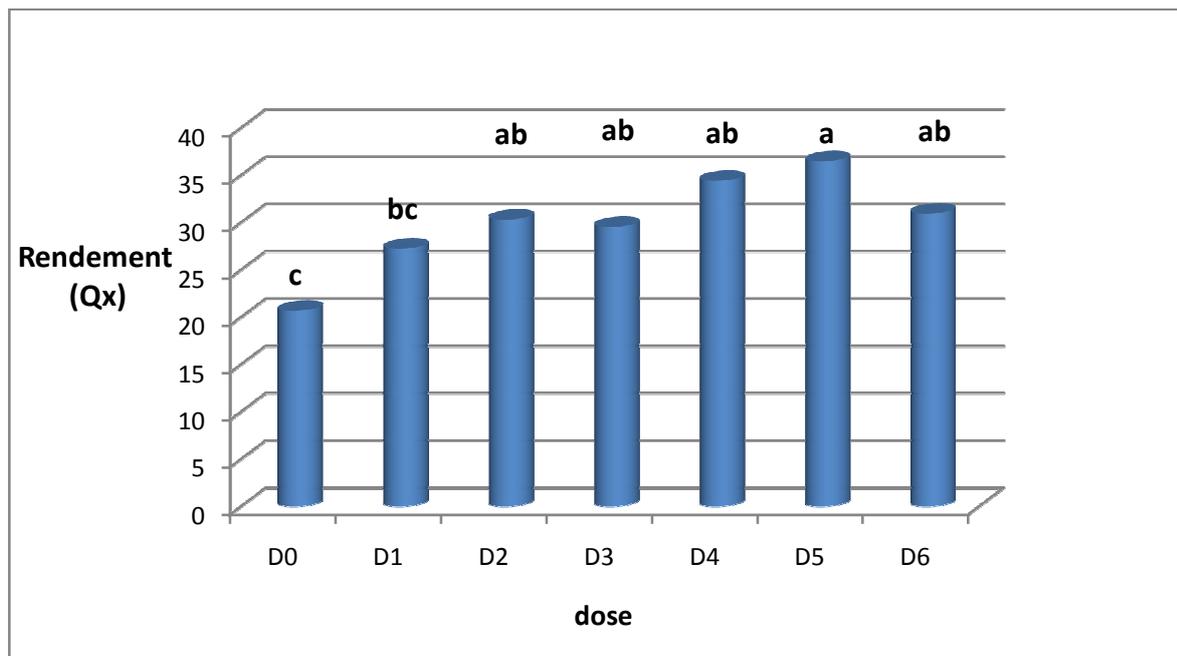


**Figure 10 :** effet du génotype sur le rendement

En effet, pour le facteur variété le test LSD a permis de ressortir deux groupes homogènes (figure 10), ( voir annexe 1, 2).

Les variétés V1 (Boussalem) et V3 (Mohamed Ben Bachir) forment un groupe homogène (a) et donnent les meilleurs rendements avec 31,02 qx/ha et 30,42 qx/ha en moyenne ; et des valeurs maximales de l'ordre de 45,64 et 43,41 qx/ha respectivement. Alors que, la variété V2 (Waha) a forme le groupe b et donne un rendement moyen et une valeur maximale de l'ordre de 27,36 et 40,9 qx/ha respectivement. Cette variation est due probablement à la diversité génétique existante entre ces variétés. Ces résultats confirment ceux obtenus par Aalami et al. (2007), Schulthess et al. (2013), Nemat et al. (2013).

Pour la fertilisation azotée, le facteur dose révèle un effet significatif sur le rendement.



**Figure 11** : Effet de la dose d'azote sur le rendement

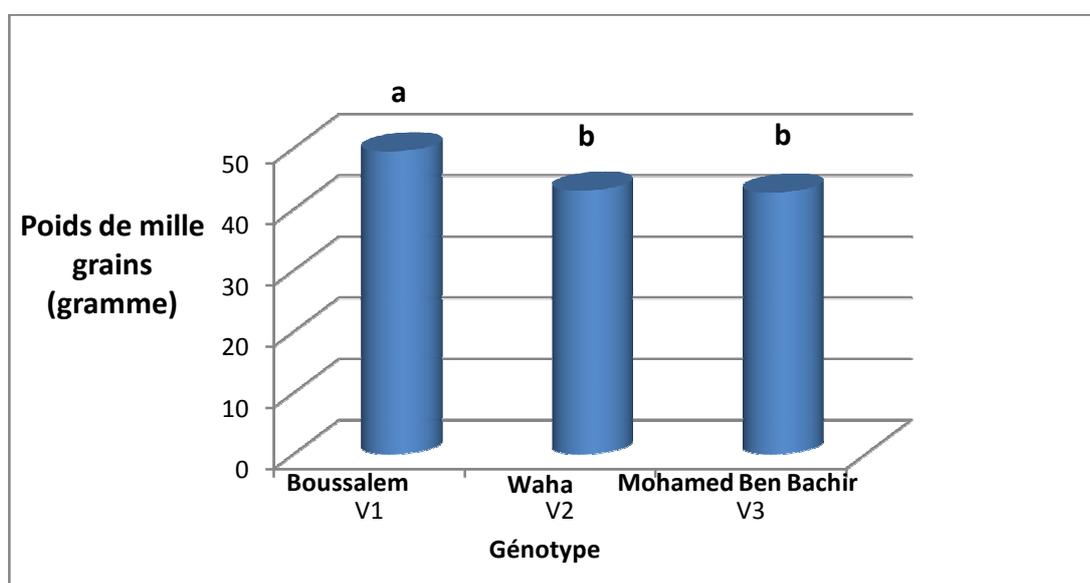
Une réalisation remarquable du rendement moyen est enregistré en fonction de l'augmentation de la dose d'azote par rapport au témoin, cette augmentation du rendement moyen varie dans un intervalle de 20,67 qx pour la D0 (Dose témoin) jusqu'à 36,46 qx/ha pour la dose D5, au-delà de cette dose, le rendement diminue, la D5 semble être la dose optimale pour avoir le meilleur rendement, le test LSD nous permet de ressortir 3 groupes homogènes qui se chevauchent (figure 11), (annexe 1, 2).

Plusieurs travaux ont montré que les doses croissantes de fertilisation azotée améliorent le rendement en grain du blé ; Djennadi et al. (2008), Fois et al. (2009), Nemat et al. (2013), Karam et al. (2009), Lopez-Bellido et al. (2001). Cependant, d'autres travaux (Rinaldi, 2004), (Albrizio et al., 2010) ont montré que l'azote n'a pas d'influence mais il favorise le rendement en présence d'eau. Donc l'eau agit effectivement sur l'absorption et la consommation d'azote. L'augmentation du rendement enregistré dans notre étude est justifiée probablement par la pluviométrie enregistrée durant la campagne d'étude (plus de 420 mm).

### 5.1.2) le poids de mille grains (PMG) :

Le poids de mille grain est un critère essentiellement variétale, il dépend aussi des conditions de culture (Anonyme, 2000).

L'analyse de la variance pour le poids de mille grains a révélé un effet très hautement significatif concernant le facteur variété, et un effet significatif pour le facteur dose (tableau 16)

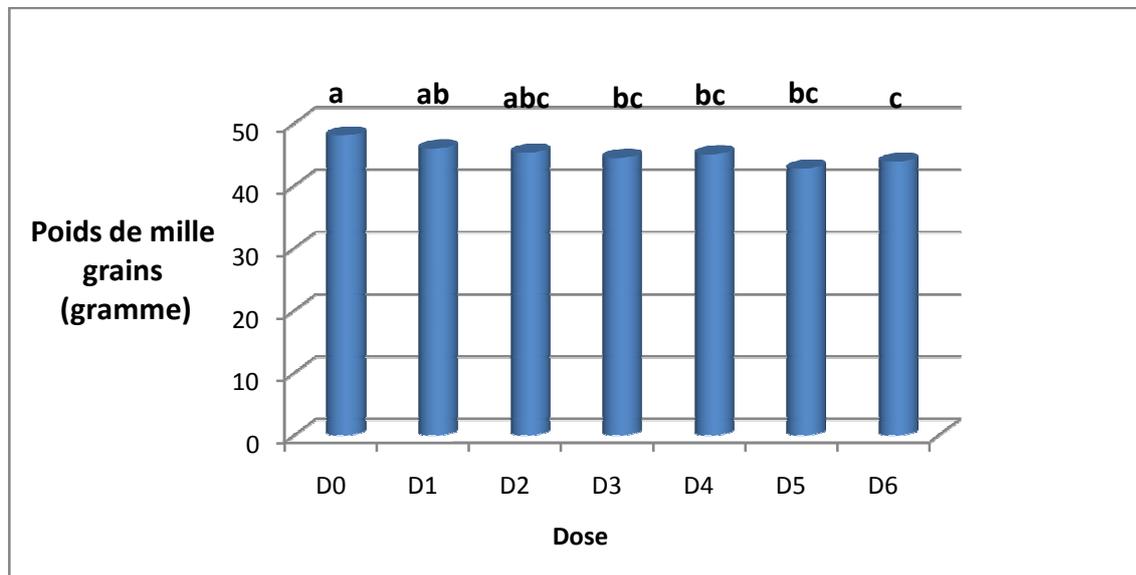


**Figure 12 :** Effet de la variété sur le poids de mille grains (PMG)

Pour le premier facteur, le test LSD a permis de dégager deux groupes homogènes (Figure 12), (annexe 1, 2) la variété Boussalem est classée dans le groupe a, elle donne le meilleur poids de mille grains avec 49,44 grammes pour le poids moyen et 56,61 grammes pour le poids maximale de la variété, la deuxième groupe (b) englobe les variétés Waha et Mohamed Ben Bachir avec respectivement 43,03 et 42,7 grammes en moyen.

Cette variation enregistrée est attribué essentiellement à l'effet du génotype et elle dépend aussi des conditions de culture (Anonyme, 2000).

Ces résultats confirment ceux obtenus par Ladraa et al. (2013), Yun-Fang Li et al. (2013), Rharrabtiet al. (2003), Aalami et al. (2007), Nemat et al. (2013).



**Figure 13 :** Effet de la dose d’azote sur le poids de mille grains (PMG)

Pour le facteur dose, le test complémentaire LSD a permis de dégager 3 groupes homogènes (figure 13), (annexe 1, 2) Le meilleur PMG est enregistré avec la D0 (témoin) suivi par D1, D2, D3, D4, D6 et D5 avec respectivement 48,05 ; 45,97 ; 45,29 ; 45,04 ; 44,48 ; 43.83 et 42,74 grammes.

L’effet de la dose semble être négatif sur le PMG, leurs augmentation se traduits par une diminution progressive du PMG, le poids moyen d’un grain se détermine durant la phase de remplissage où l’activité photosynthétique constitue la source principale d’assimilation pour la croissance des grains. Cette activité dépend beaucoup des conditions de milieu notamment les conditions hydriques et la nutrition azotée, en fait les doses élevées apportées en début de cycle se traduisent par l’élaboration de plus de matière sèche et un faible PMG , une certaine compensation concernant le nombre des grains par mètre carrée au début de cycle se traduits par ; un poids de grains élevé dans le cas du témoin et une compétition entre les talles dans le cas des traitements fertilisants (Anonyme, 1999), Daniel et al. (2000) ont montré que la

température et l'azote augmentent le pourcentage des protéines, et affectent négativement le poids des grains, Cette corrélation négative confirment les résultats obtenus par Djannadi et Raffoufi (2008), où ils ont utilisé deux niveaux d'azote 46 et 92 unité /ha, Fois et al. (2009), Bouacha et al. (2014), alors que Nemat et al. (2013) ; Karam et al. (2009) ont trouvés une corrélation positive.

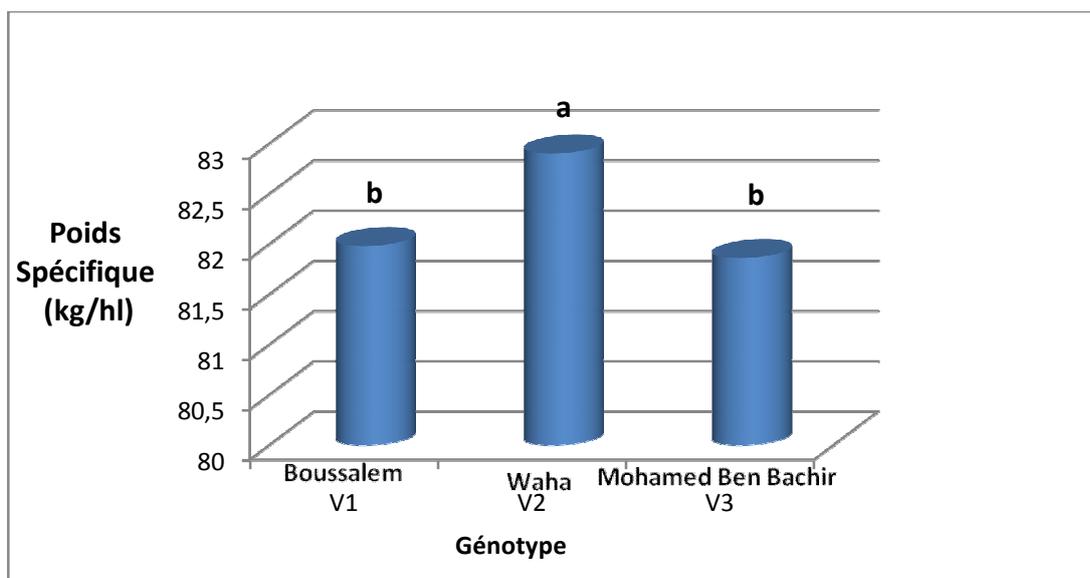
L'importance de ce paramètre est absolument industrielle, il donne une idée directe sur le rendement en matière de semoule et contribue au bon rendement semoulier c'est pour cela que les industriels recherchent le poids le plus élevé.

A cet égard, et selon la classification de Godon et Willm (1991) la variété Boussalem (V1) a de gros grains, par contre Waha et MBB ont des grains moyens.

### 5.1.3) 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 al., 1998).

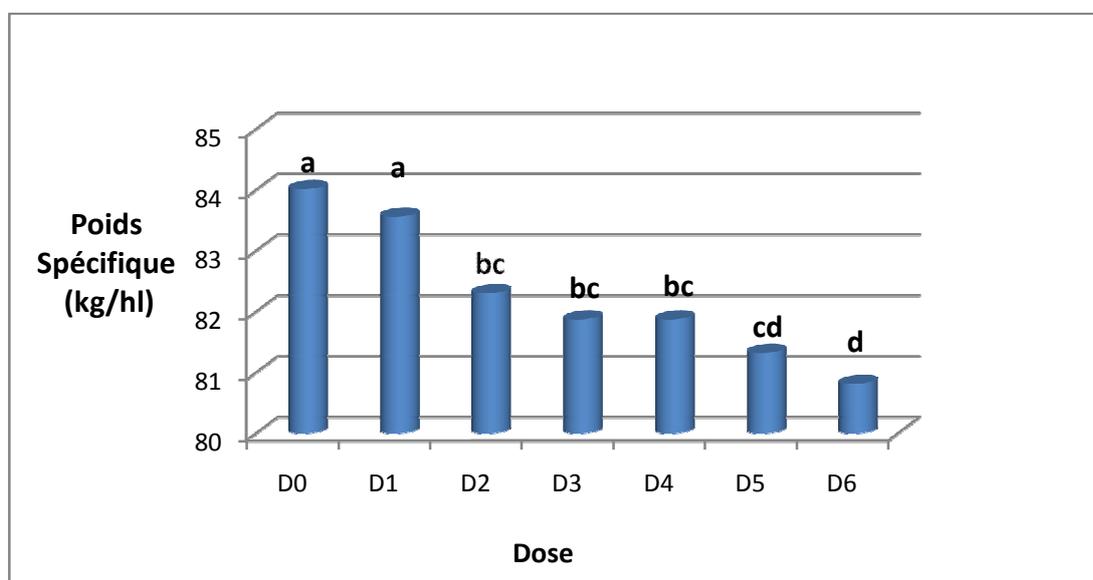
L'analyse de la variance pour le poids spécifique a révélé un effet hautement significatif pour le facteur variété, et un effet très hautement significatif pour le facteur dose (tableau 16).



**Figure 14 :** Effet de la variété sur le poids spécifique (PS)

Le test LSD permet de ressortir deux groupes homogènes pour le facteur variété (Figure 14) ; un groupe forme la variété a Waha (V2) avec un poids spécifique élevé de l'ordre de 82,9 kg/hl, et le deuxième groupe forme les variétés Boussalem (V1) et Mohamed Ben Bachir (V3) avec une moyenne de 81,98 et 81,86 kg/hl respectivement.

Ces résultats confirment ceux obtenus par Aalami et al. (2007), Dans une étude similaire Bakhella (1996) a utilisé 9 variétés de blé dur, il à trouvé une différence hautement significative pour le facteur génotype sur le poids spécifique.



**Figure 15 :** Effet de la dose d'azote sur le poids spécifique (PS)

En ce qui concerne la fertilisation azotée, le test LSD a dégagé 3 groupes homogènes (Figure 15).

Le témoin (D0) et D1 forment le premier groupe (a) avec des poids moyens élevés 84,01 et 83,56 grammes, suivi par la dose D2, D3, D4, qui forment le deuxième groupe avec des poids moyens 82,3 ; 81,87 ; 81,87kg/hl respectivement et la dose D5, D6 forme le dernier groupe avec des poids 81,32 et 80,81 respectivement. D'après la figure (15), une diminution remarquable a été enregistré du poids spécifique en fonction des doses croissantes de l'azote.

Cela est expliqué par Garido (2005) dans une étude par le fait que l'augmentation de la fertilisation azotée augmente en parallèle le nombre des grains par épi et baisse le poids de mille grains. Nos variétés présentent des poids spécifiques élevés (supérieur à 81kg/hl). Donc ils sont tous acceptables par l'industrie de transformation qui exige des valeurs supérieures à 78 kg/hl pour la trituration. Ces résultats confirment ceux obtenus par Abad et al. (2004), Gerba et al. (2013).

#### **5.1.4) la moucheture :**

La moucheture est une tache de couleur noire à brunâtre apparaît dans le sillon de la graine du blé dur. La détermination de son taux est indispensable vue son importance commerciale. La présence de la moucheture se traduit par l'apparition des points noirs dans la semoule diminuant sa valeur commerciale, et déprécie l'aspect des pâtes alimentaires.

L'analyse de la variance de ce paramètre a révélé un effet non significatif que ce soit pour la variété ou la dose, le test LSD dégage un seul groupe homogène pour les deux facteurs, ça peut être expliqué par la tolérance de nos variétés (Waha, Mohamed Ben Bachir et Boussalem) à la moucheture d'une part et que l'azote n'a pas un effet d'autre part.

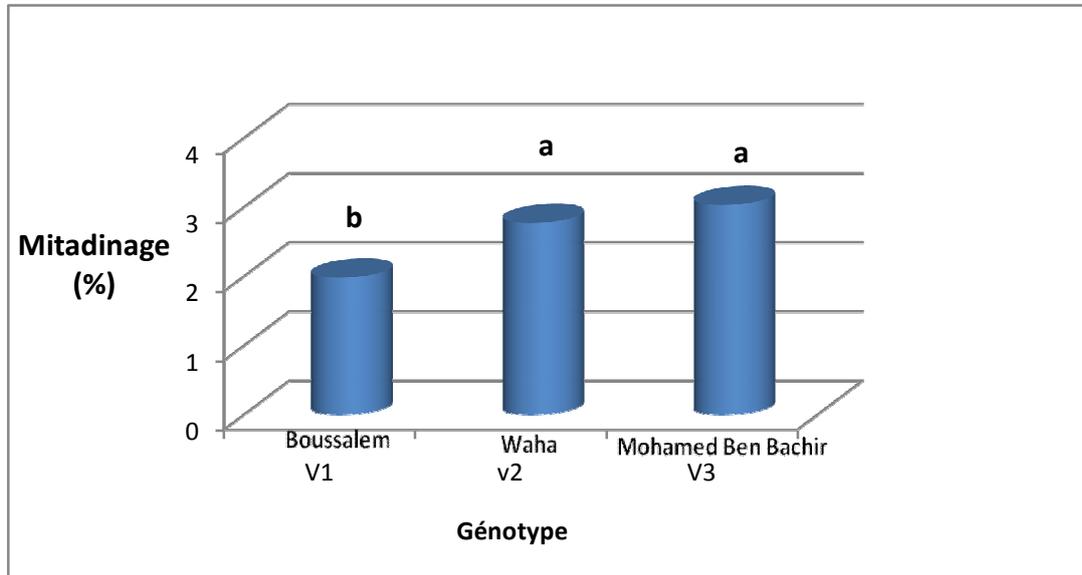
#### **5.1.5) le taux de mitadinage :**

Le mitadinage est un accident physiologique qui provoque l'apparition des portions farineuses dans l'albumen du blé dur (c'est un passage de l'état vitreux à l'état farineux), ce changement de texture pénalise la valeur semoulière en diminuant le rendement.

Plusieurs facteurs sont à l'origine du mitadinage, d'une part des facteurs environnementaux à savoir : apport d'azote, climat, sol et d'autre par des facteurs génétiques (Mariana, 2011).

Gate (1996) indique que la variété est un élément essentiel pour diminuer le risque de mitadinage alors que le rôle de climat et de la fertilisation azotée est primordial.

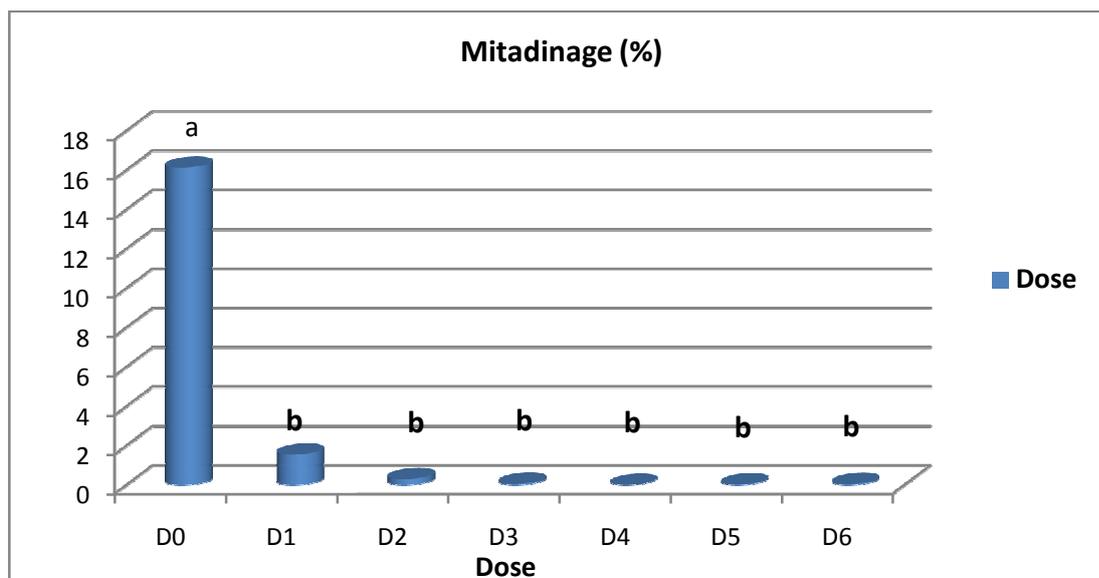
L'analyse de la variance pour le mitadinage a révélé un effet hautement significatif pour le facteur variété, et un effet très hautement significatif pour le facteur dose et l'interaction (G\*D) (tableau 16)



**Figure 16 :** Effet de la variété sur le taux de mitadinage

Le test LSD a permis de dégager deux groupes homogènes pour le facteur variété (Figure 16), Waha (V2) et Mohamed Ben Bachir (V3) forment un groupe homogène (a) avec un pourcentage de mitadinage égal à 2,77 ; 3,03 % respectivement, Boussalem forme le deuxième groupe homogène (b) avec un pourcentage de 1,98%.

Vue les résultats obtenus, nos variétés semblent être résistantes d'où leurs aptitudes génétique à gérer le risque de mitadinage.



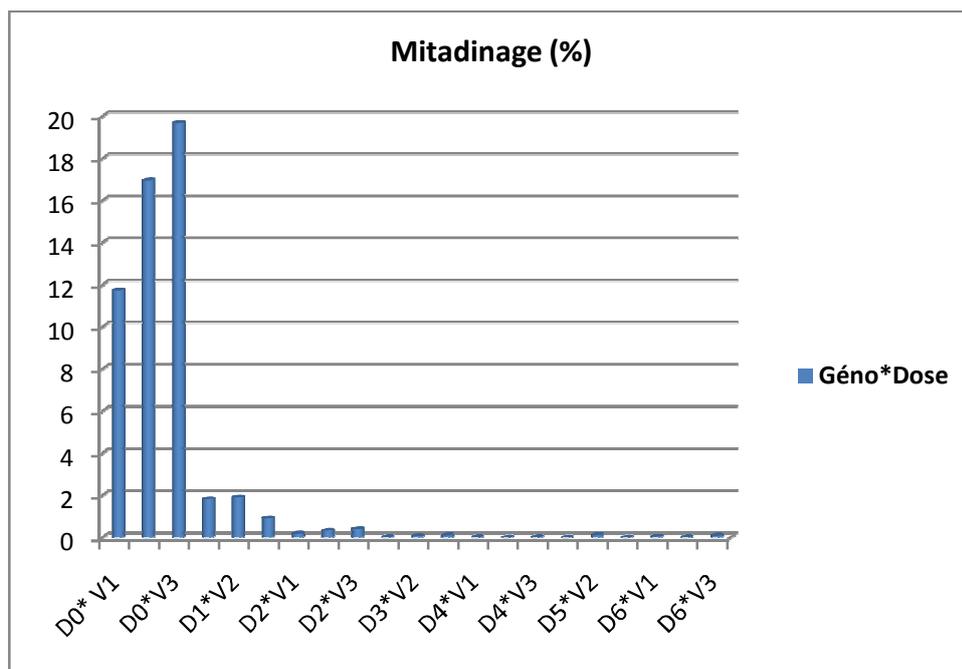
**Figure 17 :** Effet de la dose d’azote sur le taux de mitadinage

Concernant la fertilisation azotée, le test complémentaire LSD permet aussi de dégager deux groupes homogènes (figure 17).

La différence entre ces deux groupes paraît très importante, un pourcentage de 16,13 est enregistré dans le premier groupe (a) qui correspond au témoin (D0), les doses D1, D2, D3, D4, D5, D6 forment le groupe b avec des pourcentages décroissants de l’ordre de 1,55 ; 0,31, 0,073 ; 0,01 ; 0,04 et 0,06% respectivement.

L’apport de la fertilisation azoté se traduit par une diminution brutale du taux de mitadinage lors du passage du témoin vers la première dose (changement du groupe homogène) suivi par une diminution progressive de la première dose à la sixième dose.

Cela est expliqué par la corrélation négative qui existe entre la dose d’azote et le taux de mitadinage. Selon Dexter et al. (1989), l’augmentation du mitadinage est liée à la diminution du taux protéique du grain du fait d’un déficit de fertilisation azotée. Garido (2005) a affirmé que l’augmentation du taux d’azote augmente également la vitrosité des grains.



**Figure 18** : effet de l'interaction génotype \*dose sur le taux de mitadinage

L'interaction entre les deux facteurs (Génotype \* Dose) a révélé un effet très hautement significatif sur le taux de mitadinage (tableau 16).

Donc, la vitrosité augmente dans les grains d'autant que l'apport d'azote augmente. Ces résultats confirment ceux obtenus par Abdellaoui (2007), Djannadi et Rafoufi. (2008) ; Ladraa et al. (2013) dans une étude de la qualité technologique de 10 variétés de blé dur ont trouvé qu'il existe un effet très hautement significatif du génotype sur le taux de mitadinage.

Abidi (2009) a confirmé aussi que le génotype a un effet hautement significatif sur le mitadinage. Tous les résultats obtenus sont inférieurs à la norme algérienne qui tolère un taux de mitadinage maximal de l'ordre de 35%.

## 5.2) Paramètres chimiques :

Les paramètres chimiques analysés sont l'humidité (grain, semoule), le taux de cendre des grains et semoule et le taux des protéines grains et semoule. L'analyse de la variance des paramètres chimiques montre des effets significatifs de la variété et la dose notamment pour

le taux de cendre et le pourcentage de protéines des grains les résultats d'analyses sont illustrés dans le tableau (17)

**Tableau 17 :** Analyse de la variance des paramètres chimiques étudiés pour les grains et semoules.

paramètres	CM			
	Cendre grain	Cendre semoule	Protéine grain	Protéine semoule
Effet variété	0.069**	0.018**	0.78*	0.099 ns
Effet dose	0.15***	0.011***	40.89***	36.53***
Interaction V*D	0.073***	0.003 ns	0.39 ns	0.26 ns

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

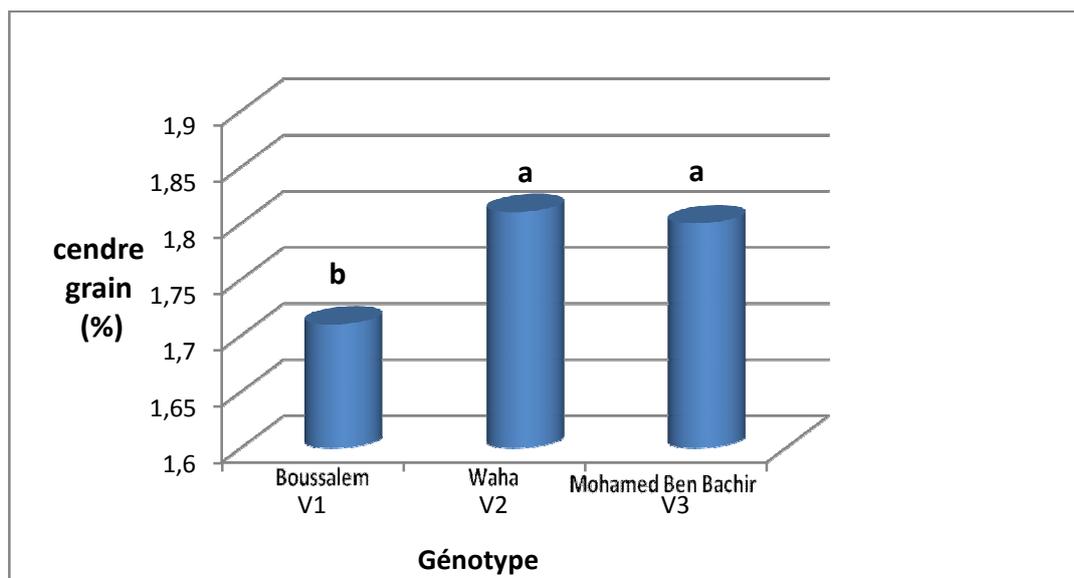
### 5.2.1) humidité grains et semoule :

Les différentes valeurs d'humidité enregistrées sont presque semblables ; les variétés ont un pourcentage d'humidité compris entre 9,76 et 9,95%. Ces valeurs sont inférieures à la valeur maximale du Codex STAND 178-1991 (14.5%), alors que les semoules ont un pourcentage compris entre 15.48 et 15.62%

### 5.2.2) la teneur en cendre grain :

La teneur en cendre des grains et semoules signifie leurs taux en matières minérales. Il donne une indication sur la quantité de matière minérale existante. Il permet de contrôler la pureté des produits de mouture (feuillet, 2000), et donne une idée sur la valeur semoulière sachant que l'augmentation du taux de cendre diminue le taux d'extraction semoulière (Proceddu, 1995).

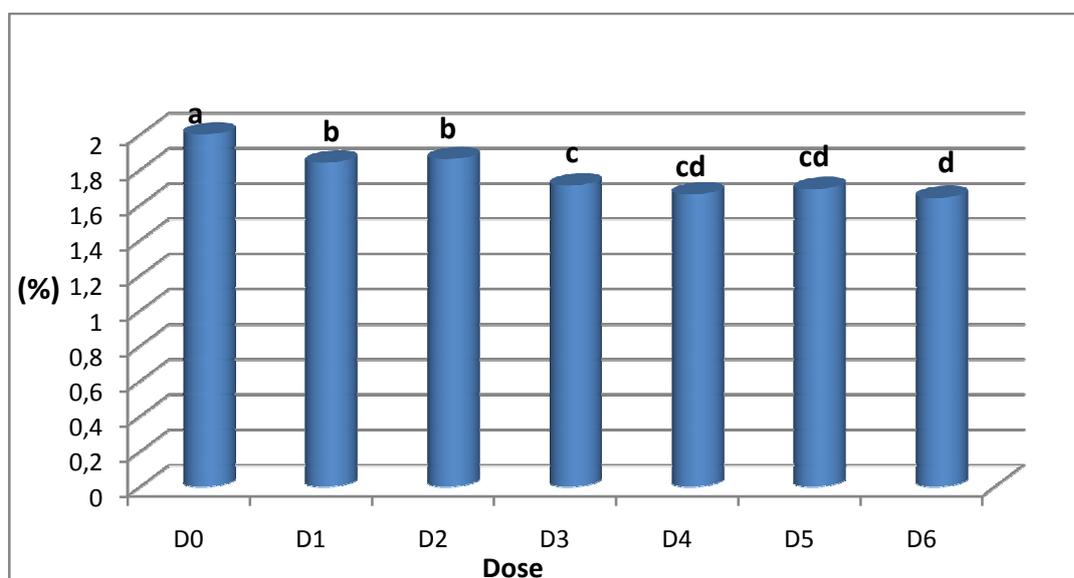
L'analyse de la variance pour les cendres grains montre un effet très significatif pour les facteurs génotype, et un effet très hautement significatif pour la dose d'azote (tableau 17).



**Figure 19 :** Effet de la variété sur le taux de cendre grains.

L'utilisation du test LSD permet de ressortir deux groupes homogènes (figure 19).

Les variétés Waha et Mohamed Ben Bachir forment un groupe homogène avec un taux de cendres moyen (1,81 ; 1,8 %) respectivement, alors que Boussalem forme le groupe b avec un taux de 1,71 %. Ces résultats montrent que le taux de cendre ou la richesse en matière minérale est un critère lié aux génotypes ; Ladraa et al. (2013), Garido (2005).



**Figure 20 :** effet de la dose sur le taux de cendre grains

Pour la fertilisation azotée l'analyse de la variance montre un effet très hautement significatif de la dose sur le taux de cendre (tableau 17), le pourcentage des minéraux diminuent avec

l'augmentation du taux d'azote, le test LSD a permis de dégager 4 groupes homogènes (figure 20), un décroissement remarquable est enregistré du taux de cendre en fonction de la dose.

Le poids maximal est enregistré dans le groupe qui correspond à la D0 avec 2 % suivi par les doses D1 et D2 qui forment le groupe b avec des poids moyens 1,84 et 1,86 % respectivement, suivi par D3, D4 et D5 avec respectivement 1,71 ; 1,66 et 1,69 ; la D6 forme le groupe d avec un pourcentage de 1,64%.

Ces résultats confirment ceux obtenus par Pasquale (2007). Abdellaoui (2007) a trouvé que l'augmentation de la dose provoque la diminution du taux de cendre grain.

Outre, un effet très hautement significatif de l'interaction (variété\*dose) sur le taux de cendre des grains (tableau 17). Pour la variété Boussalem, le taux de cendre a diminué de 1,96 à 1,65 % selon les doses décroissantes ; pour la variété Waha aussi, le taux est compris entre 1,87 qui correspond à la D0 jusqu'à 1,55 (D6).

Tous nos résultats obtenus sont inférieurs à la valeur maximale indiquée dans le Codex STAND 178-1991 qui est de l'ordre de 2,1%.

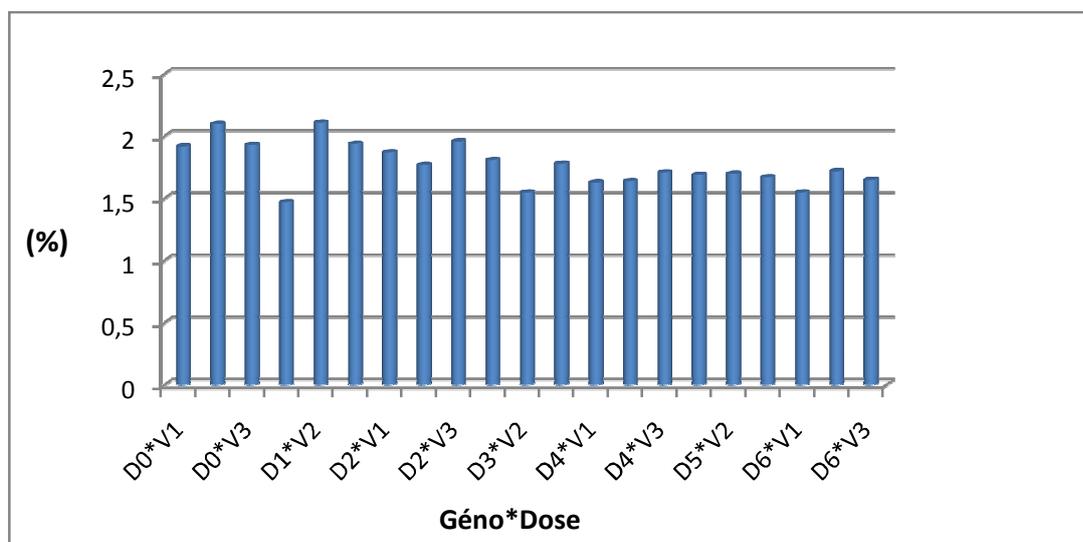
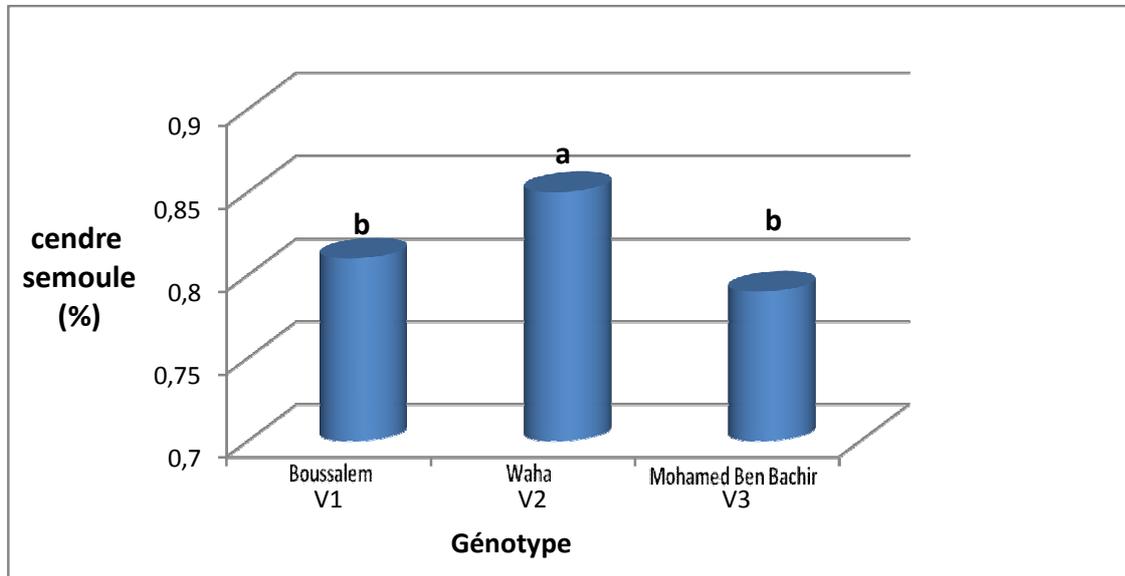


Figure 21 : Effet de l'interaction G\*V sur le taux de cendres grains.

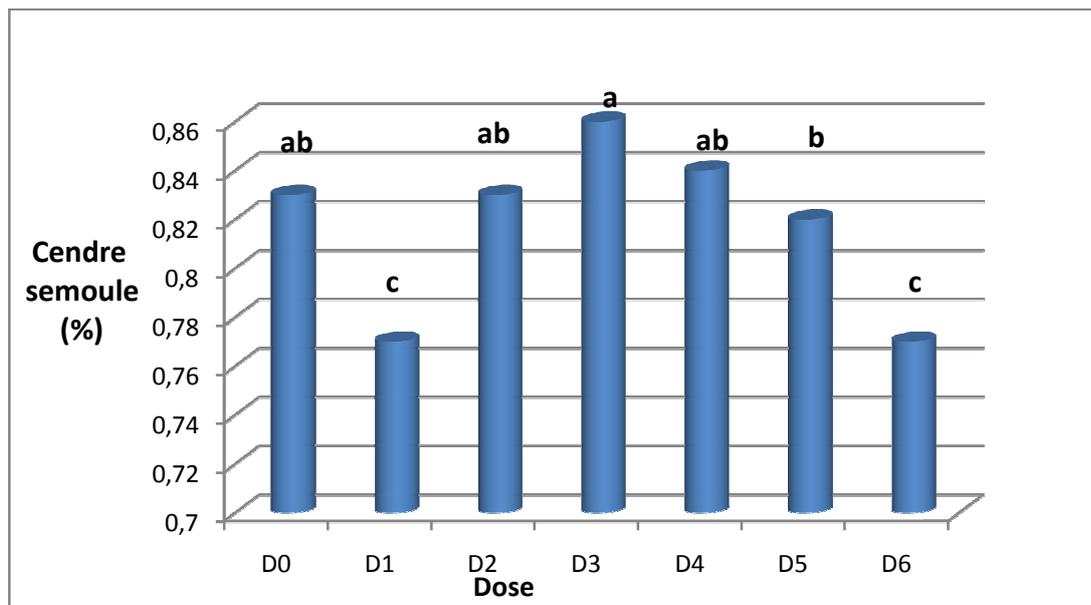
### 5.2.3) cendre semoule :

L'analyse de la variance pour les cendres semoules indique un effet hautement significatif pour le facteur génotype et un effet très hautement significatif pour la dose (tableau 17)



**Figure 22** : Effet de la variété sur le taux de cendres semoule.

Pour le facteur génotype, le test LSD permet de ressortir deux groupes homogènes (figure 22), Boussalem forme le groupe (a) avec le taux élevé de cendre (0,85 %) ; Waha(V1) et Mohamed Ben Benbachir (V3) forment le groupe (b) avec respectivement 0,81 et 0,79 %. Cette variation est due probablement aux génotypes ; Peterson et al (1986) ont rapporté cette variation à l'année, milieu de culture, et l'influence de l'origine génétique.



**Figure 23 :** Effet de la dose sur le taux de cendre semoule.

Pour le facteur dose, le test LSD dégage 3 groupes homogènes (figure 23).

La dose D3, D4, D2 et D0 forment le premier groupe avec des poids moyens 0,86 ; 0,84 ; 0,83 et 0,83 % (valeurs les plus élevés), le deuxième groupe est formé par la D5 (0,82), la D1 et D5 forment le dernier groupe avec une valeur moyenne de l'ordre de 0,77%.

Cette fluctuation enregistrée est due probablement à la répartition des minéraux dans le grain lui-même, la répartition est influencée selon Godon (1978) cité par Abidi, (2009) à la fois par plusieurs facteurs à savoir ; génétiques, climatiques, pédologiques, et traitements technologiques.

Tous les résultats obtenus sont inférieurs à la dose maximale indiquée dans le Codex STAN 178-1991 (1,3%).

Cependant, la pureté de semoule ne peut s'apprécier qu'avec le R (rapport entre : la teneur en cendre/ semoule et teneur en cendre grain), le rapport doit être inférieur à 0.5 pour que les semoules soient pures (Ghezlane, 1979), d'après les résultats obtenus la plupart de nos semoules sont pures.

#### **5.2.4) Protéines grains et semoule:**

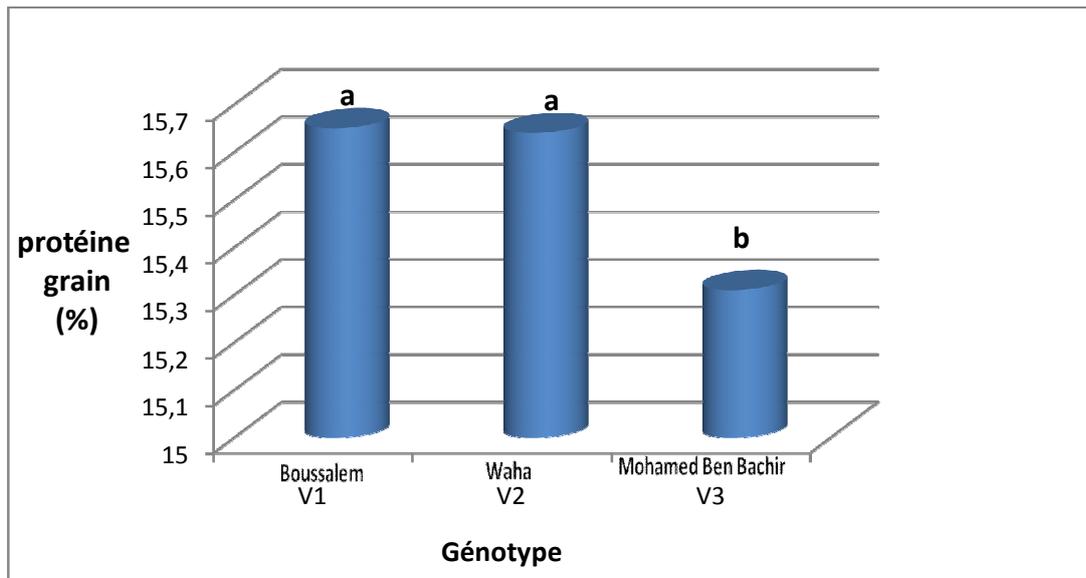
La teneur en protéines de la graine du blé dur est le critère le plus important pour l'appréciation de la qualité, cette teneur est conditionnée d'après les auteurs d'un côté par le facteur génotype et d'autre côté par les conditions culturales.

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 développement d'une part et un transfert efficace de l'azote de la partie végétative vers les grains au cours de remplissage d'autre part (Feillet, 2000).

Dans une étude similaire animée par Anderson et al. (1999) sur 33 variétés du blé, il ont trouvé que la variation de degré d'efficacité d'azote dépend de la variété et que l'azote augmente à la fois le rendement en quantité et qualité, outre ; Daniel et al. (2000) ont déclaré que la qualité du grain dépend de leur teneur en protéine qui est influencé par la fertilisation azotée, la quantité et le temps d'application. Garido (2005) suggère que l'azote a un effet beaucoup plus sur la qualité que sur le rendement.

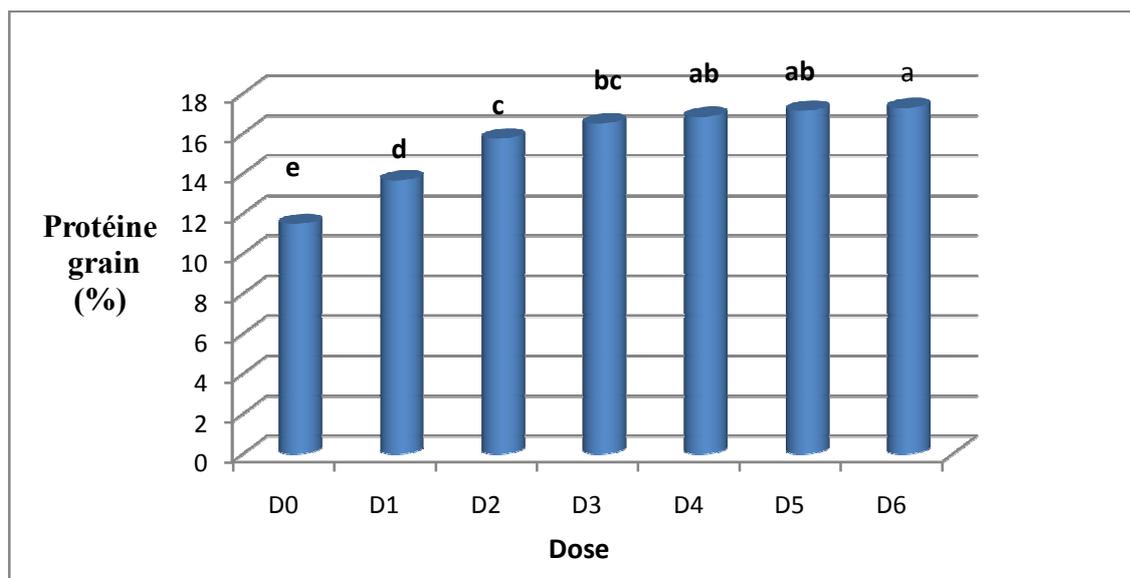
Gerba (2013) a affirmé que la qualité du blé dur dépend de sa composition en protéine et que le taux des protéines est conditionné par le génotype et influencé par l'environnement notamment la fertilisation azotée.

L'analyse de la variance de ce paramètre a révélé pour le facteur génotype un effet significatif concernant le taux des protéines grains et un effet non significatif pour les semoules (tableau 17).



**Figure 24 :** Effet de la variété sur le taux des protéines grains.

Pour le facteur variété le test LSD a permis de ressortir deux groupes homogènes (figure 24), les variétés Boussalem (V1) et Waha (V2) forment le groupe a avec des pourcentages moyens en protéines grains de l'ordre de 15,65 et 15,64 % respectivement. La variété Mohamed Ben Bachir forme le deuxième groupe (b) avec un pourcentage de 15,31% ; ces résultats sont relativement supérieurs à ceux trouvés dans les semoules à savoir 14,03(V1) ; 14,15(V2) ; 14,02%(V3) respectivement. La différence du taux enregistré dans les grains est due probablement à la variation génotypique existante. L'effet de la variété est démontré par Fenn et al. (1994) ; Souza et al. (2004) ; Ladraa et al. (2013), (Abdellaoui et al. (2008), Hachemi et al. (1977)) cités par Hammadache (2011) , Sapirsrein et al. (2007).



**Figure 25 :** Effet de la dose d'azote sur le taux des protéines grains.

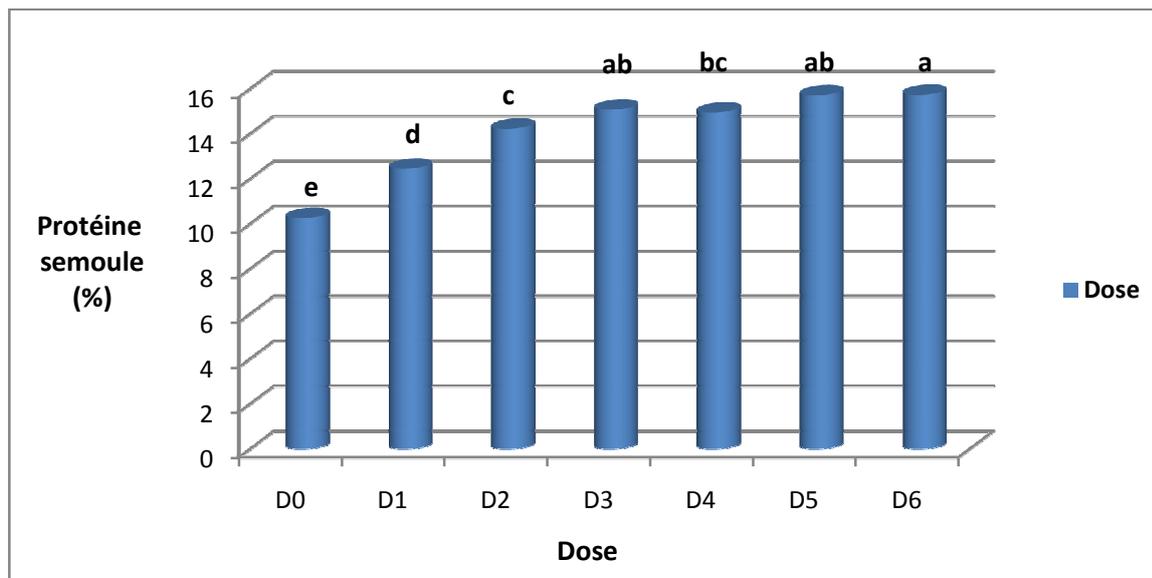
Pour la fertilisation azotée, l'analyse de variance a révélé un effet très hautement significatif pour les grains et semoule.

Pour les protéines grains, le test LSD permet de dégager 5 groupes homogènes (Figure 25), la dose maximale D6 représente la valeur la plus élevée, une augmentation progressive du taux des protéines été enregistré en fonction de l'augmentation de la dose d'azote.

Le meilleur taux en protéine grain est enregistré dans la D6 (17,25%) formant le groupe (a).

Les doses D3, D4 forment le 2<sup>ème</sup> groupe avec des pourcentages 16,5 et 16,83 %, alors que les doses D0, D1, D2 forment le groupe a avec des valeurs l'ordre de 11,48 ; 13,66 et 15,74% respectivement. le témoin (D0) représente la valeur la plus basse.

Selon la classification de Williams et al (1988), nos géotypes ont un taux de protéines élevés de [13,6 à 15,5%] (Mohamed Ben Bachir) a très élevés de [15,6 à 17,5] (Boussalem et Waha).



**Figure 26 :** Effet de la dose d’azote sur le taux des protéines semoule.

Pour les protéines semoule, l’utilisation du test LSD permet de ressortir 5 groupes homogènes (figure 26).

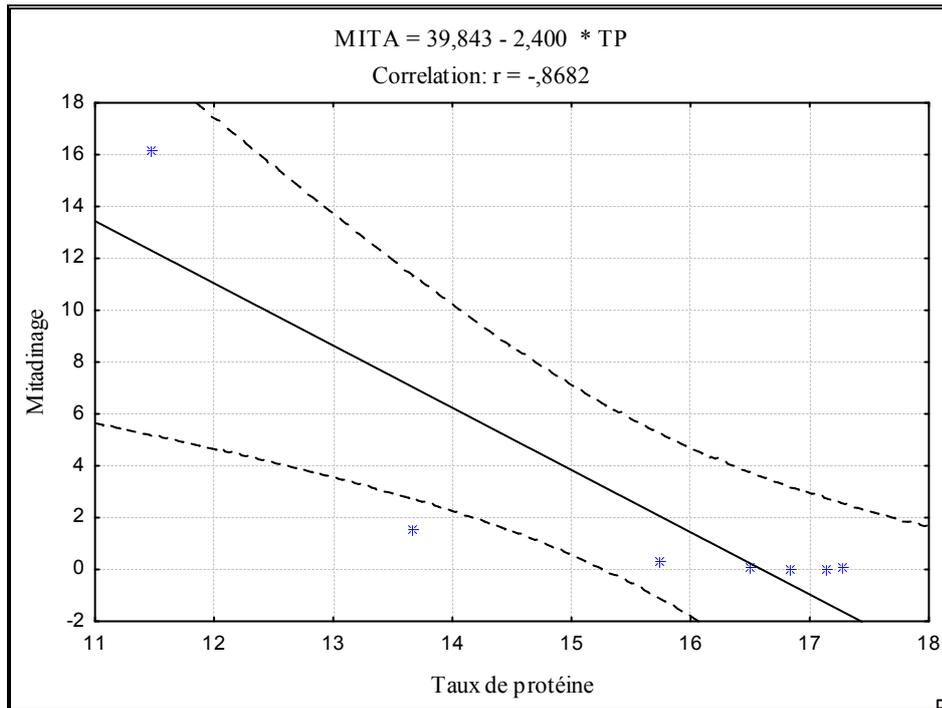
Le témoin (D0) représente la valeur la plus basse concernant le taux des protéines alors que la dose maximale D6 représente la valeur la plus élevée, une augmentation progressive du taux des protéines été enregistré en fonction de l’augmentation de la dose d’azote.

Les doses D6, D5, D3 forment le groupe “a” avec des valeurs l’ordre de 15,74 ; 15,72 et 15.08% respectivement, la D6 semble être la meilleur dose.

Les doses D4, D2 forment le 2<sup>ème</sup> groupe avec des pourcentages en protéines semoule de 14,96 et 14,24 %, alors que la faible valeur en protéine semoule est enregistrée dans le témoin (10.27%). Ces résultats confirment ceux obtenus par Djannadi et al. (2008), Abdellaoui (2007), Abad et al. (2004), Bouacha et al. (2014).

#### **5.2.4.1) corrélation entre le taux des protéines et le taux de mitadinage :**

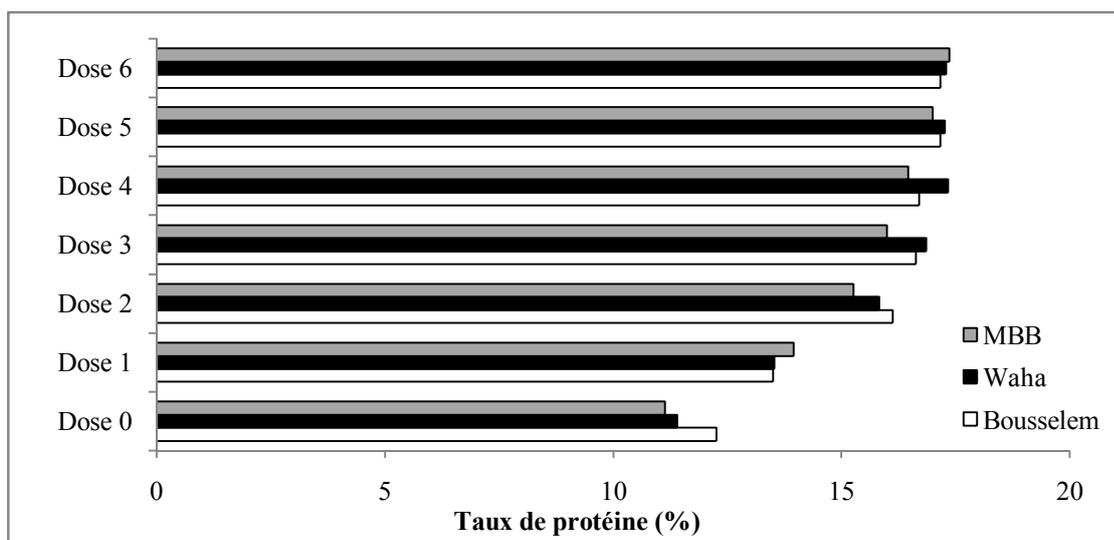
Un effet significatif et négatif a été enregistré entre la teneur en protéine et le taux de mitadinage avec un coefficient de corrélation  $r = -0,86$  dont la probabilité est inférieure à 0.05 (figure 27)



**Figure 27 :** Corrélation entre le taux des protéines grains et le taux de mitadinage.

L'augmentation du taux de protéine et par conséquent la dose d'azote correspond à une diminution du taux de mitadinage, le témoin a un taux élevé en mitadinage qui diminue suite au premier apport azoté.

#### 5.2.4.2) Evolution du taux des protéines en fonction de la dose.

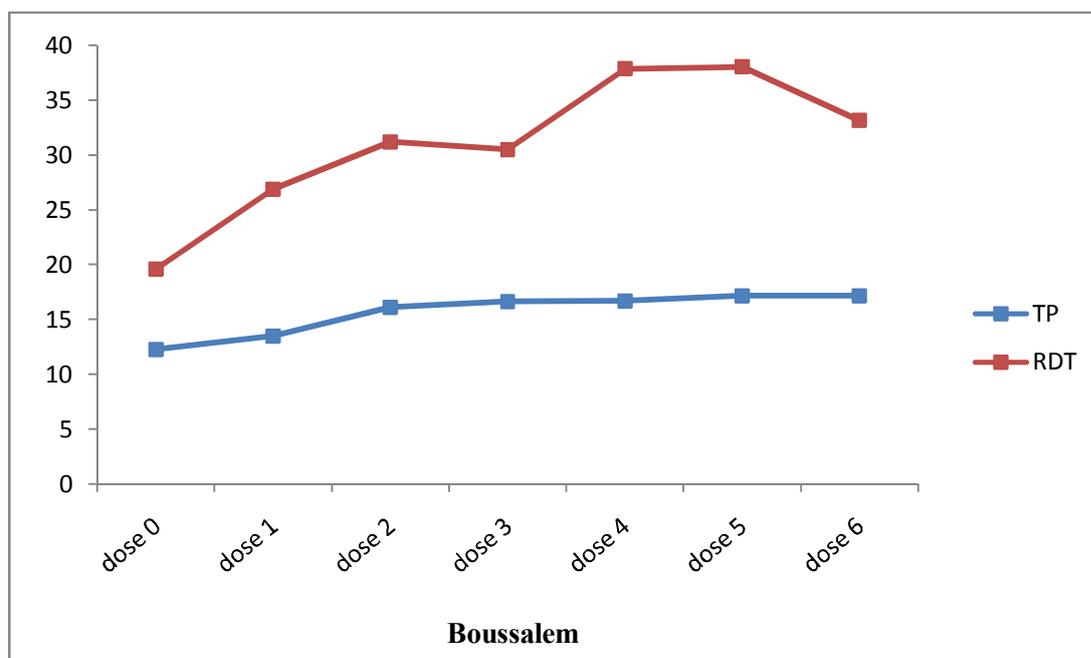


**Figure 28 :** Evolution du taux de protéine des trois variétés en fonction de la dose.

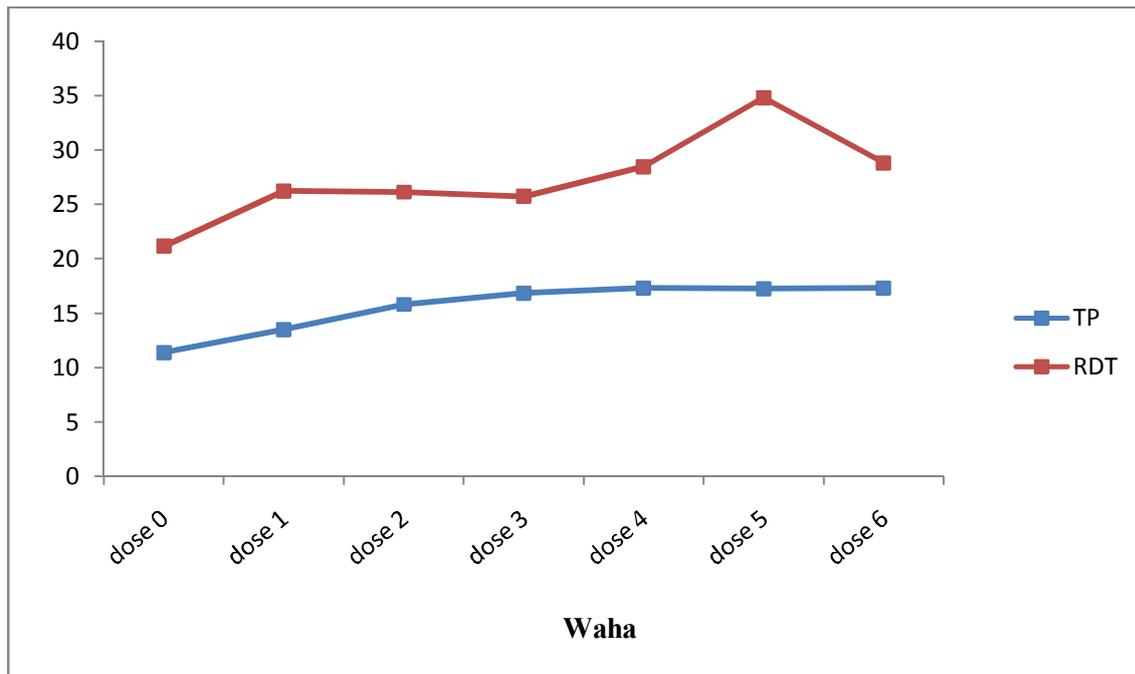
Les trois variétés ont une réaction similaire vis-à-vis de l'augmentation de la dose d'azote, un taux faible dans la première dose a été enregistré pour les 3 variétés, ce taux augmente par la suite parallèlement avec l'augmentation de la dose (figure 28). Sachant que du témoin à la D6 le taux de protéine a augmenté avec un différence de 4,9 ; 5,9 et 6.23% respectivement aux variétés Boussalem, Waha et MBB.

#### 5.2.4.3) L'augmentation du taux protéique et rendement en fonction de la dose d'azote :

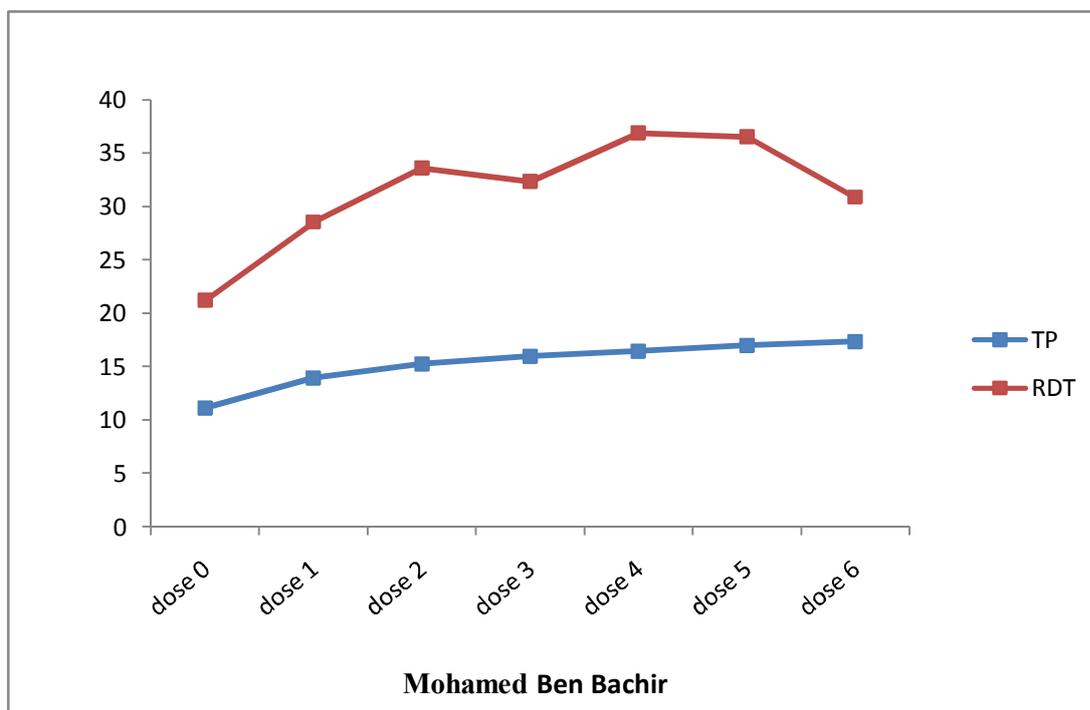
Le rendement augmente parallèlement avec l'augmentation de la dose mais il diminue après la D5, par contre l'augmentation du taux des protéines ne diminue pas même après la D5 pour les trois variétés (voir figures 29, 30, 31).



**Figure 29 :** Augmentation du rendement et des protéines en fonction de la dose d'azote pour la variété Boussalem.



**Figure 30 :** Augmentation du rendement et des protéines en fonction de la dose d'azote pour la variété Waha.



**Figure 31 :** Augmentation du rendement et des protéines en fonction de la dose d'azote pour la variété Mohamed Ben Bachir.

### 5.3) Paramètres technologique :

Des paramètres technologiques ont été analysés à savoir ; le taux d'extraction semoulière, le test de sédimentation, l'indice de coloration (jaune et de brun), le taux de gluten (humide et sec) et le taux d'hydratation. L'analyse de la variance de ces paramètres indique des effets très hautement significatif, et hautement significatifs du génotype et de la dose pour les paramètres SDS, indice de jaune et le taux du gluten (humide et sec). Les résultats sont illustrés dans le tableau (18).

**Tableau 18** : Analyse de la variance des paramètres technologiques de la semoule.

Paramètres	CM						
	Taux d'extraction	SDS	Indice de Jaune	Indice de Brun	Gluten Humide	Gluten Sec	Taux d'hydratation
Génotype	128.16***	244.74***	28.53*	9.94 ns	183.42***	10.69**	83.71 ns
Dose	38.71 Ns	39.65**	5.29 ns	4.12 ns	599.11***	34.87***	44.99 ns
Interaction G*D	21.24 Ns	4.14 ns	3.83 ns	1.75 ns	18.29 ns	1.34 ns	26.98 ns

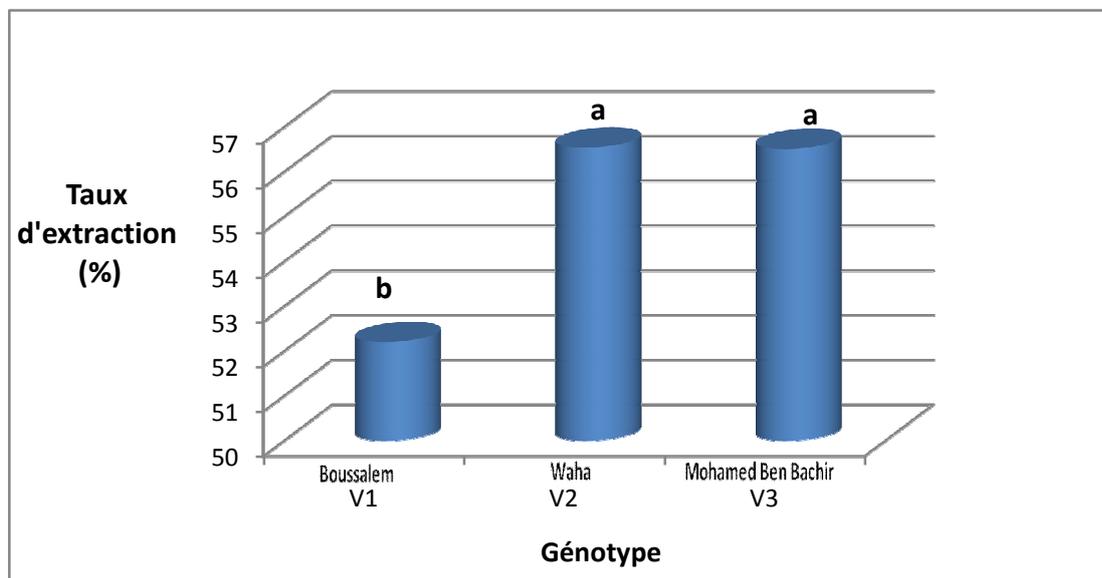
\* p<0.05 : significatif ; \*\* p<0.01 très significatif ; \*\*\* p<0.001 très hautement significatif

#### 5.3.1) Taux d'extraction :

Le taux d'extraction est un paramètre absolument économique, il nous donne une idée sur le rendement semoulier et permet de mesurer l'aptitude d'un lot de blé dur à la première transformation.

Selon Proceddu (1995), Le rendement semoulier est une combinaison du calibre, des propriétés intrinsèques et de la teneur en cendres.

L'analyse de la variance pour le taux d'extraction des semoules a montré un effet très hautement significatif pour le facteur génotype et non significatif pour la dose d'azote et l'interaction V\*D (tableau 18).



**Figure 32 :** Effet de la variété sur le taux d'extraction de la semoule.

Le test LSD pour le facteur génotype a permis de ressortir deux groupes homogènes (figure 32).

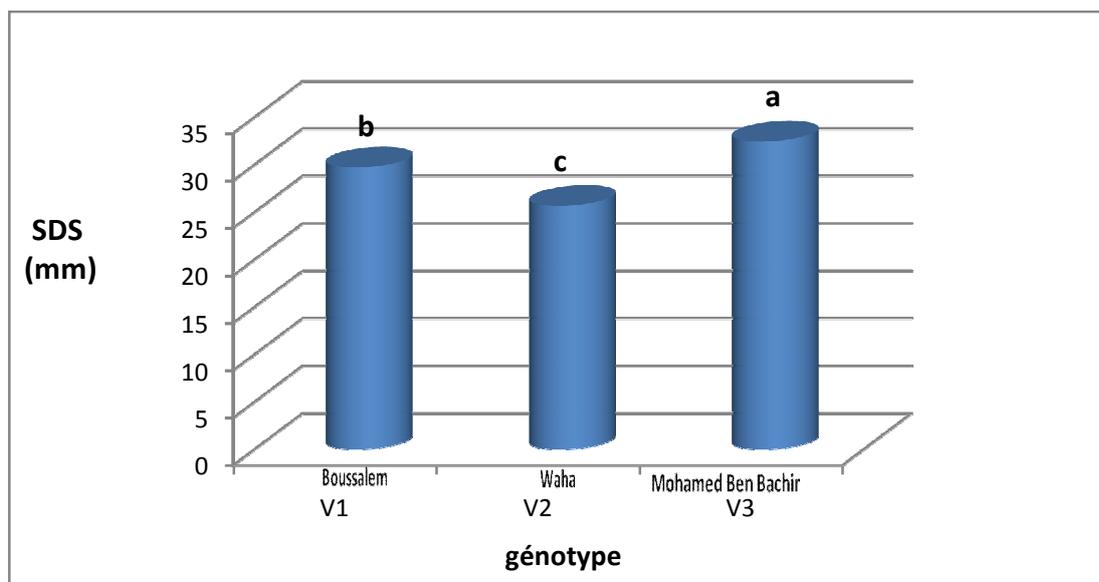
Waha (V2) et Mohamed Ben Bachir (V3) forment le premier groupe homogène avec des valeurs (56,54 et 56,51%) et Boussalem forme le deuxième groupe avec une valeur moyenne de l'ordre de 52,2%. La variation est en fonction des caractéristiques des grains et les conditions de la mouture. Cette variation pourrait s'expliquer selon Cubadda (1988) par une adhésion excessive de tégument et l'endosperme entraînant des problèmes au cours du broyage.

### 5.3.2) Test de sédimentation :

Le SDS est un test qui a pour objet de donner une indication générale sur la qualité du gluten, il classe les blés selon l'aptitude boulangère et caractérise la qualité des protéines et leur

pouvoir de gonflement (Godon et al., 1998) ; sachant que les résultats les plus élevés montrent que les blés ont une bonne aptitude à l'absorption d'eau, donc une bonne qualité de semoule.

L'analyse de variance pour le volume de sédimentation a révélé un effet très hautement significatif du facteur variété et un effet très significatif du facteur dose (tableau 18).



**Figure 33:** Effet de la variété sur le volume de sédimentation (SDS).

Le test LSD pour le facteur variété dégage 3 groupes homogènes (a, b et c) (figure 33).

Mohamed Ben Bachir (V3) forme Le groupe homogène a avec un volume de sédimentation élevé par rapport aux autres qui est de l'ordre de 32,45 mm qui représente la meilleur valeur; suivi par Boussalem (V1) qui forme le groupe (b) avec une valeur moyenne de 29,71 mm.

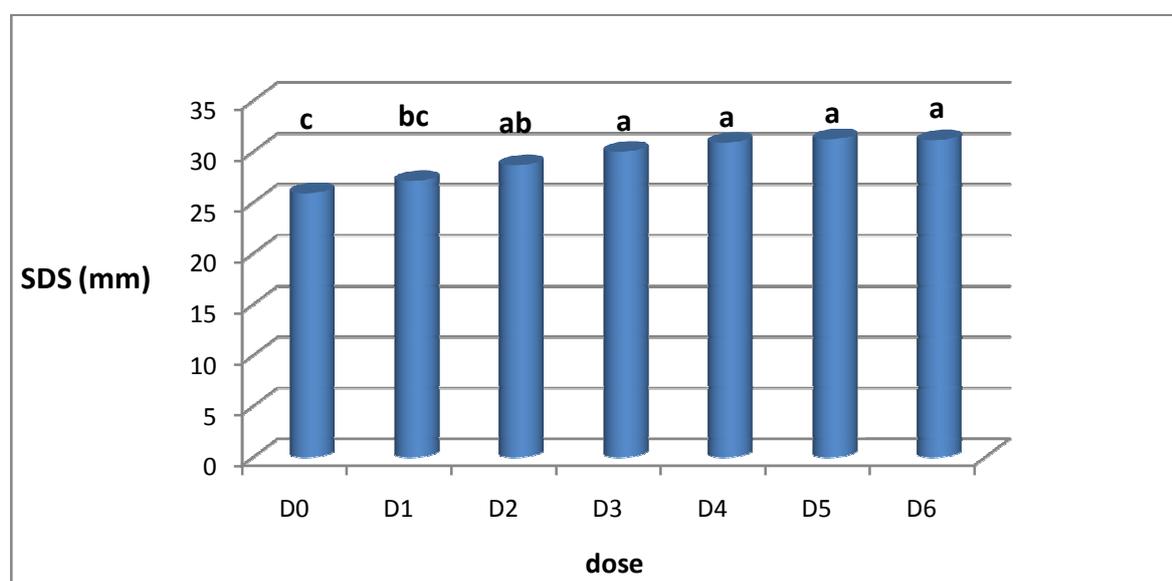
La valeur la plus basse est enregistrée pour le groupe (c) représenté par la variété Waha (V2) avec un volume moyen 25,66 mm. Cette variation est due à la diversité génétique existante.

Mohamed Bachir a un bon volume de sédimentation donc une bonne qualité par rapport aux autres variétés malgré son taux faible en protéine (voir figure 24), cela indique que la quantité des protéines ne reflète pas la qualité (Aalami et al., 2007).

Cependant, ces valeurs obtenues sont très faibles à faibles par rapport aux normes citées par Williams et al. (1988), pour qu'un blé soit de force moyenne il faut que son volume de sédimentation soit supérieur à 50 mm ; Monneveux (1984) a rapporté la force faible du gluten à la présence dans le génotype la fraction 42-  $\gamma$  Gliadines uniquement. alors que Jeantet et al. (2007) ont rapporté les faibles valeurs aux fractions gluténines à haut poids moléculaire qui sont impliqués dans le gonflement de protéines en présence de SDS.

Nakoul et al. (1988) ont rapporté les faibles volumes à la diversité spécifique (entre les espèces), ils ont déclaré que le blé dur contrairement au blé tendre a des volumes faibles en SDS qui dépasse rarement 35 mm (cité par Ladraa et al., 2013).

Ces résultats confirment ceux obtenus par Saint Pierre (2008) ; Chouana (2011), Abidi (2009), Abdellaoui (2007), Ladraa (2013), Aalami et al. (2007).



**Figure 34 :** Effet de la dose sur le volume de sédimentation (SDS).

Le test LSD permet de ressortir 3 groupes homogènes (figure 34).

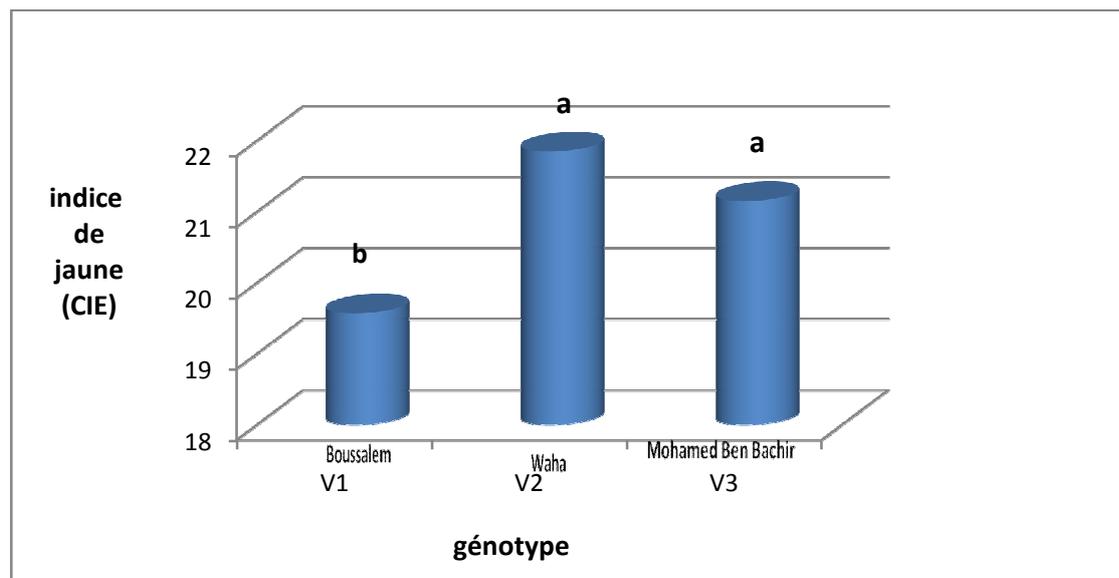
Les doses D6, D5, D4 et D3 forment le groupe (a) avec des volumes moyens 31,11 ; 31,22 ; 30,88 et 30 mm respectivement ; les doses D2 et D1 forment le deuxième groupe avec des volumes 28,66 et 27,11 mm respectivement, alors le témoin forme le groupe 3 avec un

volume de 25,94 mm. On peut constater que les doses croissantes de l'azote influent positivement le volume de sédimentation et par conséquent la qualité du gluten.

### 5.3.3) indice de coloration (jaune) :

La coloration de semoule est un critère très important pour les consommateurs, l'intérêt de la mesure de cet indice est essentiellement commercial, Les ménages recherchent souvent les semoules de couleur dorée (Benbelkacem et al., 1995). Cette coloration est considérée par Parker et al. (1998) comme un caractère hautement héréditaire.

L'analyse de variance pour l'indice de jaune a révélé un effet très significatif du facteur Variété et un effet non significatif pour le facteur dose, alors que pour l'indice de brun aucune différence significative n'a été enregistrée.



**Figure 35 :** Effet du génotype sur la coloration de la semoule.

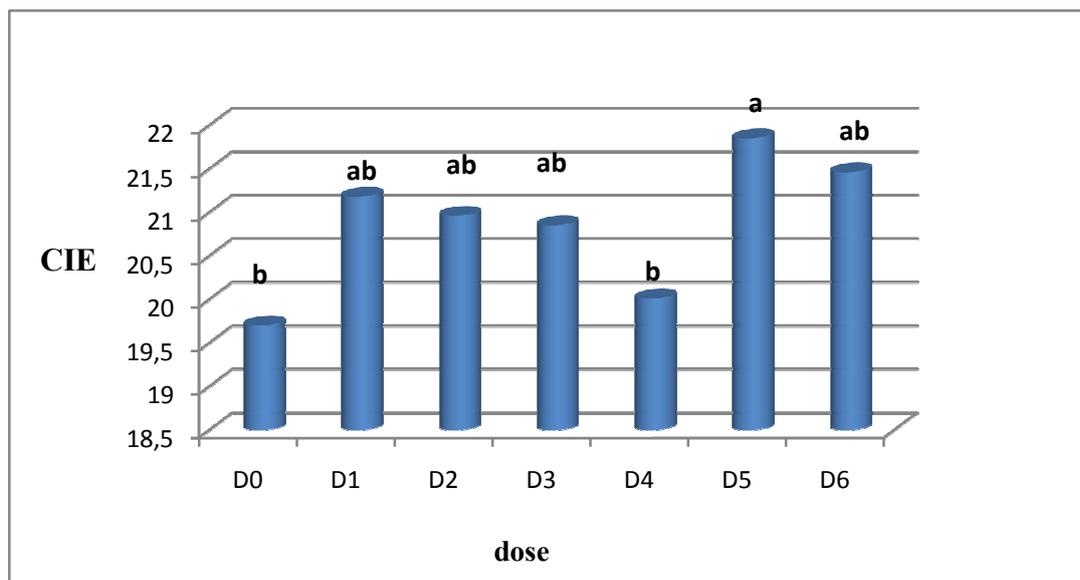
Le test LSD pour le facteur variété permet de dégager 2 groupes homogènes (figure 35).

Waha (V2) et Mohamed Ben Bachir (V3) forment le groupe a avec une coloration jaune élevée de l'ordre de 21,85 et 21,15 CIE par rapport à Boussalem (V1) qui est de 19,57.

Les indices de jaunes obtenus sont faibles et inférieurs aux normes cités par Houliaropoulos (1981) qui exige un indice compris entre 28 -35 pour que la coloration jaune soit moyenne.

Cela peut être dû à une destruction enzymatique des pigments caroténoïdes au cours du stockage des grains et l'accélération de cette destruction après la transformation du blé dur en semoule ; ces pigments caroténoïdes se trouvent associés à l'activité de la lipoxygénase qui est responsable de la dégradation oxydative (Borrelie et al., 2003), ces résultats confirment ceux obtenus par Aalami et al. (2007), Schulthess et al. (2013).

Concernant l'effet de la fertilisation azotée, les résultats de LSD montrent aussi deux



**Figure 36 :** Effet de la dose d'azote sur la coloration jaune de la semoule.

groupes homogènes qui se chevauchent (figure 36). La valeur maximale et minimale de l'indice de jaune sont enregistrées respectivement dans la D5 et D0 ce qui donne une idée sur une augmentation sensible de couleur jaune sous l'effet des doses croissantes.

A travers une étude sur des génotypes de blé dur, Kling et al. (2000) ont rapporté la variation de l'indice de jaune au facteur génétique (25%), le site de culture (36%) et à l'interaction site année.

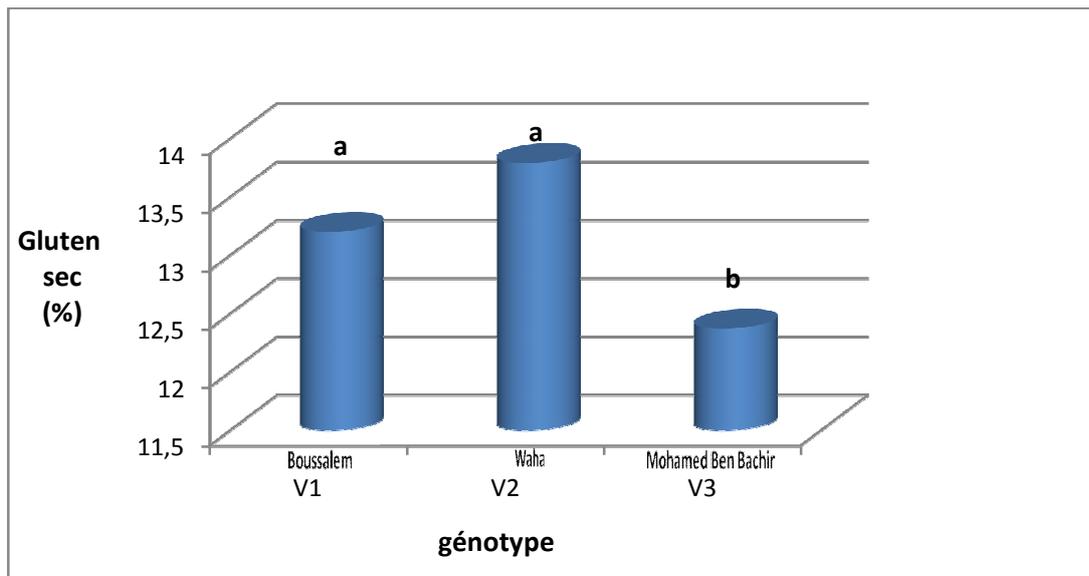
#### **5.3.4) Taux de gluten (sec et humide) :**

Le gluten est un complexe viscoélastique composé de protéines de réserve (Gliadines et gluténine), amidon, sucres réducteurs, pentosanes, lipides et matière minérale (Feillet, 2000) ;

le teneur en gluten donne une indication globale sur la quantité et la qualité des protéines (Anonyme, 2000).

L'analyse de la variance du gluten sec et humide a révélé un effet très hautement significatif

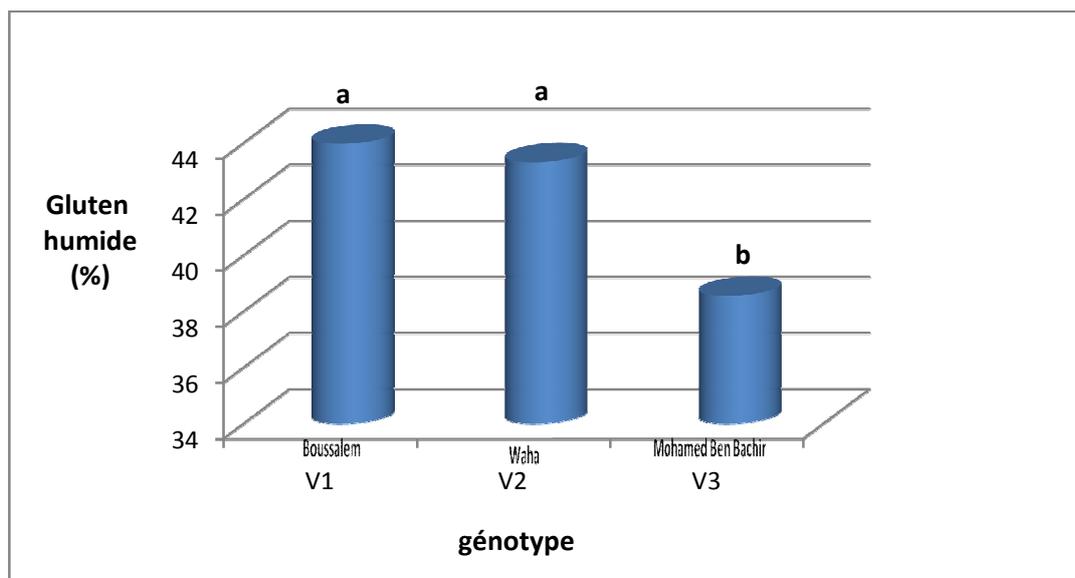
Pour le facteur génotype et le facteur dose, cependant un effet non significatif concernant l'interaction G\*D (tableau 18).



**Figure 37 :** Effet de la variété sur le taux de gluten sec.

Pour le facteur génotype, le test LSD a permis de dégager deux groupes homogènes (figure 37), les deux premières variétés (V1 et V2) forment le groupe homogène a avec des valeurs moyennes de l'ordre de 13,2 et 13,79. La variété Mohamed Ben Bachir (V3) forme le groupe homogène b avec une valeur moyenne 12,37 %. Dont la variété Waha (V2) a le taux élevé par rapport aux autres variétés.

Nos génotypes ont une bonne valeur pastière selon la classification de Matveef (1966), Cette classification nécessite une valeur comprise entre 11% - 15% pour que le blé soit de bonne valeur pastière.

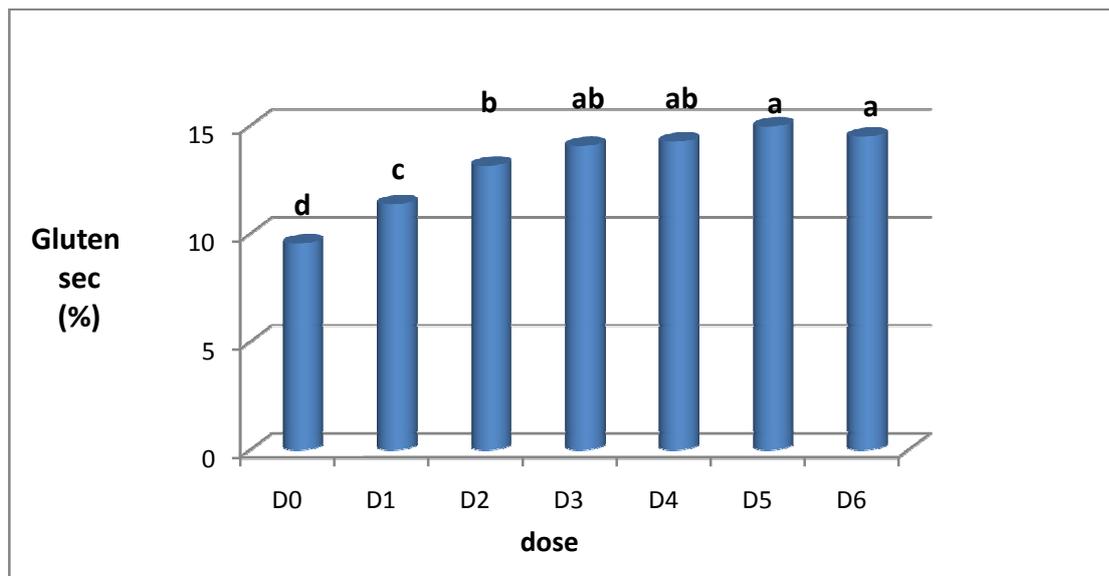


**Figure 38 :** Effet de la variété sur le taux de gluten humide.

Parallèlement, pour le gluten humide le test LSD a permis de dégager deux groupes homogènes (figure 38), les deux premières variétés (V1 et V2) forment le groupe homogène a avec des valeurs moyennes élevées de l'ordre de 43,97 et 43,31%.

La variété Mohamed Ben Bachir (V3) forme le groupe homogène b avec une valeur moyenne 38,55 %. D'après les résultats, la valeur la plus grande du gluten humide est enregistrée par la variété Boussalem (V1).

Ces résultats corroborent avec ceux trouvés par feillet (1988) qui montre une variation du gluten humide en fonction du génotype ; Ladraa (2013) montre une différence très hautement significative de la variété sur le taux gluten humide et le gluten sec ; Abdellaoui et al. (2008) ont trouvés une différence hautement significative de la variété et la dose concernant le gluten sec et une augmentation significative de la capacité d'hydratation pour la dose d'azote ; Mebtouche (1998) et Abidi (2009), ont montrés une différence significative de la variété sur le gluten sec et humide ; Aalami et al. (2007) ont trouvé un effet hautement significatif de la variété sur le gluten humide.



**Figure 39** : Effet de la dose d'azote sur le taux de gluten sec

Pour la fertilisation azotée, le test LSD permet de ressortir 4 groupes homogènes (Figure 39).

L'augmentation des doses d'azote a un effet positif sur le taux du gluten sec, sachant que la faible valeur du gluten sec est représentée par le témoin D0 (9.55%) alors que la valeur maximale est représentée par la dose D5 (14,26%).

Les doses D6, D5, D4 et D3 forment le premier groupe (a) avec des valeurs élevées de l'ordre de 14,49 ; 14,96 ; 14.26 et 14.06 % respectivement, les doses D2, D1 et D0 forment les groupes b, c et d avec des valeurs moyennes 13,4 ; 11,37 et 9,55 % respectivement.

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

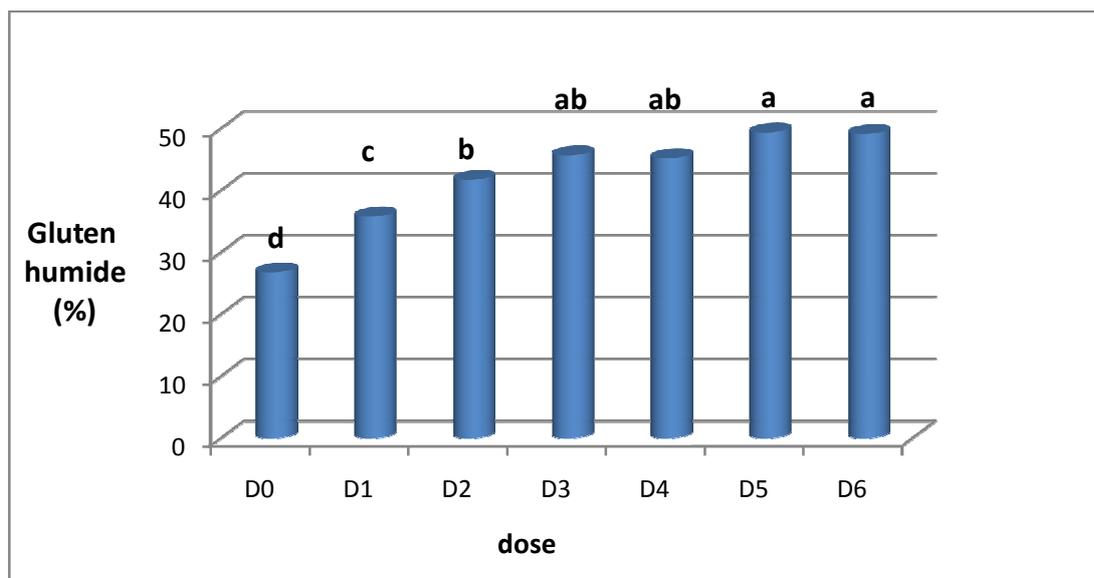
- \* le blé qui contient un pourcentage inférieur à 11% est blé insuffisant.
- \* un pourcentage compris entre 11%-15% donne un blé de bonne valeur pastière.
- \* un blé supérieur à 15% est un blé de force.

D'après cette classification l'utilisation de la dose 0 (témoin) donne un blé insuffisant alors que les autres doses représentent un blé de bonne valeur pastière, donc les doses croissantes

d'azote changent la texture de celui-ci ; d'un blé insuffisant à un blé de bonne valeur pastière et même à un blé de force (tableau 19). À cet égard la disponibilité de l'azote et du soufre affecte la quantité et la qualité des protéines et par conséquent les propriétés rhéologiques du gluten (luo et al., 2000)

**Tableau 19 :** Classification des variétés en fonction du taux du gluten sec selon l'échelle de Matveef (1966).

<b>&lt; 11%</b>	<b>11%-15%</b>	<b>&gt;15%</b>
<b>Blé insuffisant</b>	<b>Blé de bonne valeur pastière</b>	<b>Blé de force</b>
<b>V1D0</b>	<b>V1D1 V2D1</b>	<b>V2D4</b>
<b>V2D0</b>	<b>V3D1 V1D2</b>	<b>V1D5</b>
<b>V3D0</b>	<b>V2D2 V3D2</b>	<b>V2D6</b>
	<b>V1D3 V2D3</b>	
	<b>V3D3 V1D4</b>	
	<b>V3D4 V1D5</b>	
	<b>V2D5 V3D5</b>	
	<b>V1D6 V2D6</b>	
	<b>V3D6</b>	

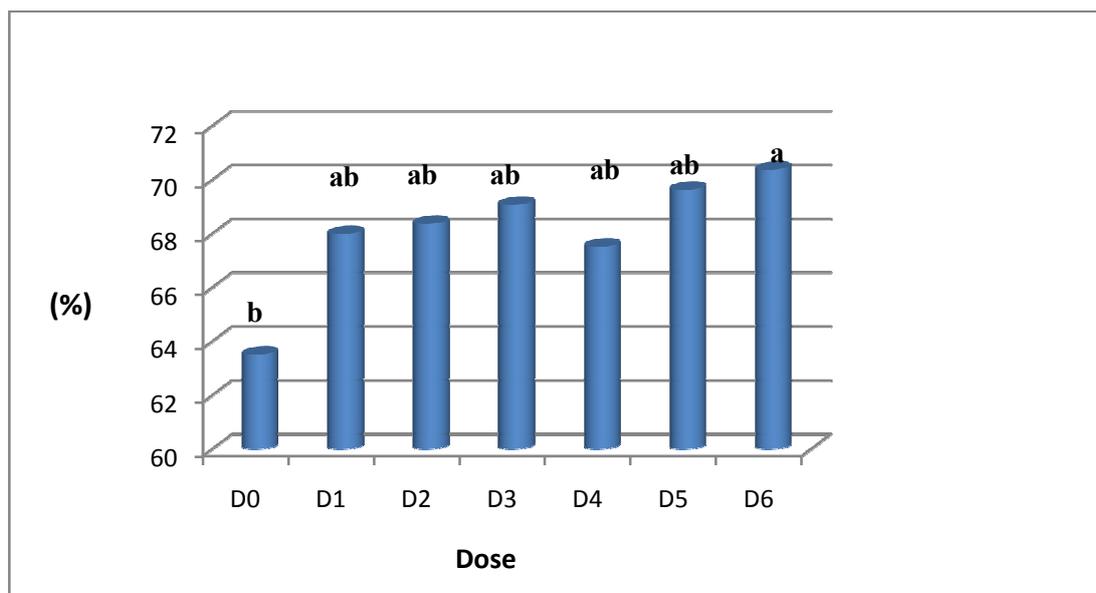


**Figure 40** : Effet de la dose d'azote sur le taux de gluten humide.

Le test complémentaire LSD pour le gluten humide a permis de ressortir 4 groupes homogènes (figure 40).

Les doses D6, D5, D4 et D3 forment le premier groupe (a) avec des valeurs élevées de l'ordre de 49,13 ; 49,35 ; 45,21 et 45,67 % respectivement, les doses D2, D1 et D0 forment les groupes b, c et d avec des valeurs moyennes 41,71 ; 35,77 et 26,77 % respectivement.

L'augmentation des doses d'azote a un effet positif sur ce paramètre, dont la faible valeur du gluten sec est représentée par le témoin D0 (26,77%) alors que la valeur maximale est représentée par la dose D5 (49,35%).



**Figure 41** : Effet de la dose d'azote sur la capacité d'hydratation.

Concernant le taux d'hydratation et en fonction du facteur dose, le test LSD a permis de ressortir deux groupes homogènes qui se chevauchent (figure 41), la valeur maximale et minimale sont enregistrées dans les doses D6 et D0 avec respectivement 70,38% et 63,51%.

Les valeurs du gluten sec semblent être similaires aux valeurs du gluten humide et à la capacité d'hydratation ; on constate que

- les semoules qui ont un taux de gluten très élevé (blé de force) ont un taux de gluten humide supérieur à 50% et une capacité d'hydratation élevée.
- les semoules qui ont une bonne valeur pastière montrent un taux de gluten humide entre 30 et 50% et une capacité d'hydratation moyenne.
- les semoules médiocres ont un taux de gluten humide inférieur à 30% et une faible capacité d'hydratation.

Feillet (2000) a suggéré que la semoule qui contient une faible quantité de gluten s'hydrate facilement et devient moins élastique et plus visqueuse par rapport à la semoule qui a une grande quantité de gluten.

#### 5.4) Paramètres rhéologiques (au mixographe)

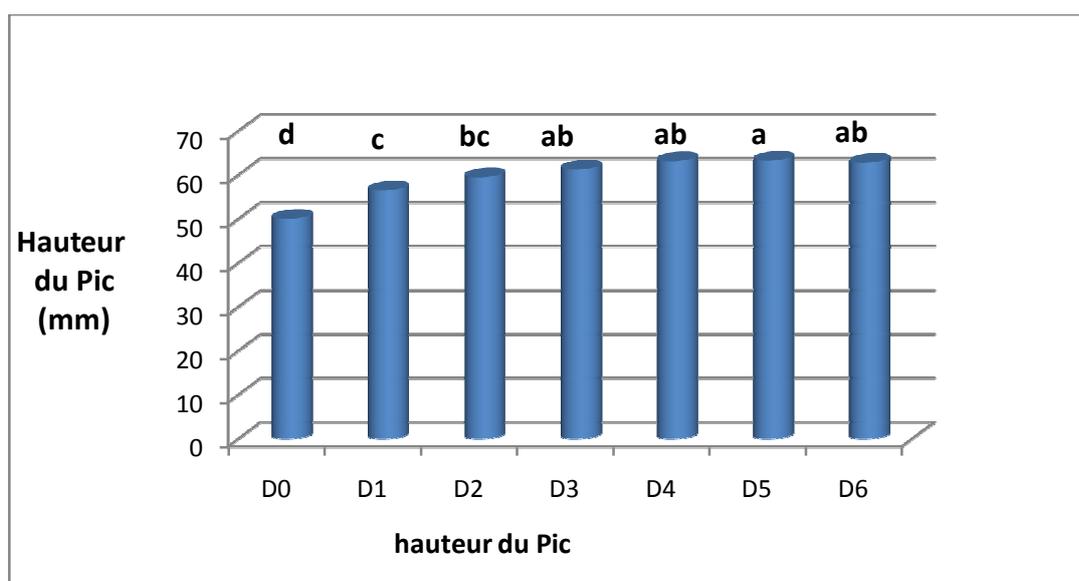
L'essai au mixographe permet de déterminer quelques propriétés rhéologiques de panification et de pastification des semoules issues de blé dur en mettant en évidence en particulier la force du gluten (Mebtouche, 1998), c'est un outil puissant pour étudier les indices de la qualité (Martinant et al., 1998).

L'analyse de la variance pour les paramètres rhéologiques au mixographe révèle : un effet significatif du facteur génotype sur le temps de pétrissage, un effet très hautement significatif du facteur dose sur la hauteur du pic et le temps de pétrissage et un effet très hautement significatif de l'interaction génotype\* dose sur le temps de pétrissage et un effet non significatif concernant l'interaction G\*D pour la hauteur du pic (tableau 20).

**Tableau 20** : Analyse de la variance des paramètres rhéologique des semoules au mixographe

Paramètre du mixographe	CM	
	Hauteur du pic	Temps du pétrissage
Génotype	18.9 ns	0.22*
Dose	210.27***	0.32***
Interaction G*D	19.71 ns	0.19***

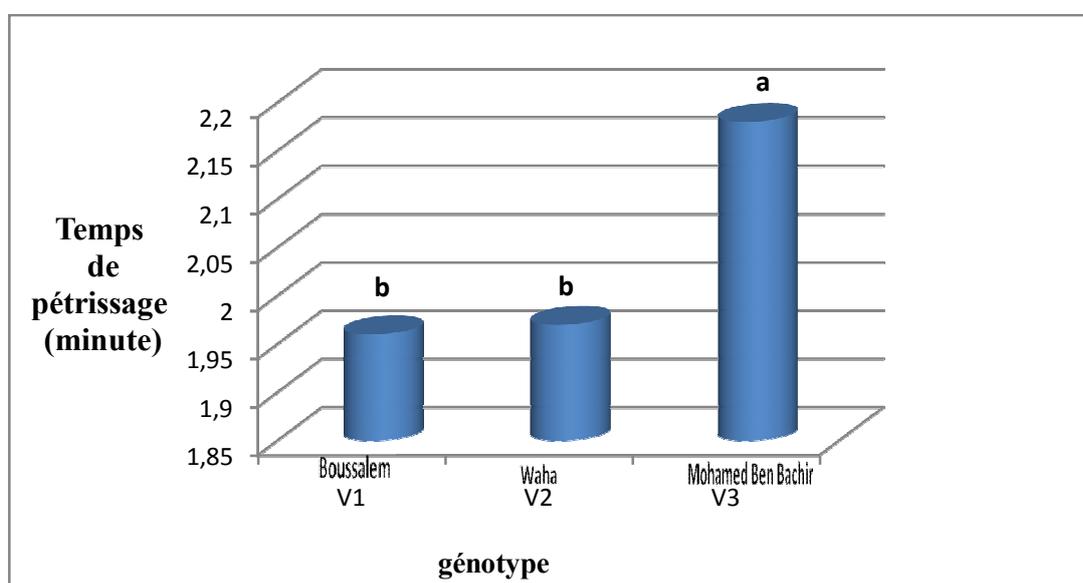
\* p<0.05 : significatif ; \*\* p<0.01 très significatif ; \*\*\* p<0.001 très hautement significatif



**Figure 42** : Effet de la dose d'azote sur la hauteur du pic.

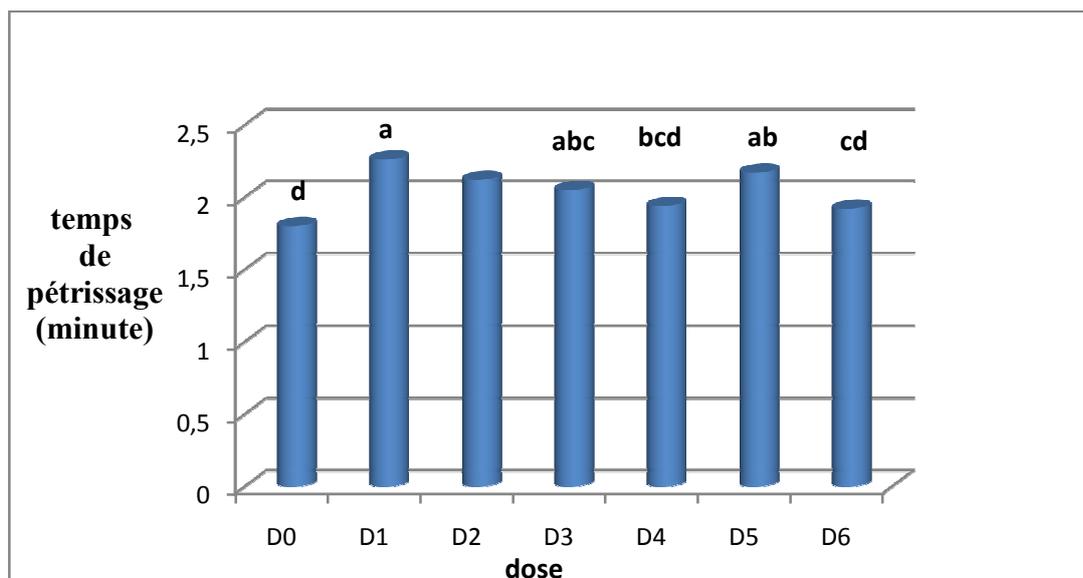
Pour la hauteur du pic, la variété n'a aucun effet sur ce paramètre alors que la dose croissante d'azote a montré un effet très hautement significatif.

L'utilisation de test complémentaire LSD donne 4 groupes homogènes qui se chevauchent (figure 42), une augmentation remarquable de l'hauteur du pic est enregistrée en fonction de la dose croissante d'azote ; la premier groupe homogène comporte D5, D4, D6 et D3 avec respectivement 63,33 ; 63,22 ; 62,88 et 61,33 millimètres dont l'optimum est enregistré pour la dose 5, la hauteur minimale est enregistrée pour le témoin (D0 ; 50,11 mm).



**Figure 43 :** Effet de la variété sur le temps de pétrissage.

Pour le temps de pétrissage, le facteur variété montre un effet très hautement significatif; la comparaison des moyennes a permis de ressortir deux groupes homogènes (figure 43), le groupe a formé par la variété Mohamed Ben Bachir (V3) avec un temps de 2,18 min qui présente la valeur optimale alors que Boussalem (V1) et Waha (V2) forment le groupe homogène b avec des valeurs de l'ordre de 1,96 et 1,97 min respectivement. Mohamed Ben Bachir semble être meilleur du point de vue tolérance au pétrissage par rapport aux V1 et V2, cette appréciation confirme les résultats trouvés pour la qualité du gluten (le volume de sédimentation) (voir figure 33)



**Figure 44** : Effet de la dose d'azote sur le temps de pétrissage.

Le temps de pétrissage des semoules pour les doses utilisées est compris entre 1.8 et 2.26 min, le test LSD a permis de dégager 3 groupes homogènes qui se chevauchent (figure 44). L'effet des doses croissantes d'azote semble être ne pas influence le temps de développement vu les fluctuations du temps enregistré dont : un groupe homogène comporte les doses D1, D5, avec des valeurs de l'ordre de 2,26 et 2,17 min, un groupe comporte les doses D2 et D3 avec des valeurs 2,12 et 2,05 min, un groupe composé par D4, D6 et D0 avec des valeurs 1,94 1,92 et 1,8 min. Donc, la dose d'azote et par conséquent le taux de protéine n'influe pas le temps de développement. Cela justifie que le taux faible des protéines enregistré pour la variété Mohamed Ben bachir n'empêche pas cette variété a donner une tolérance élevée au pétrissage. Dans une étude similaire, Herbert et Werner (1999) ont suggérés que pour l'ensemble des fractions protéiques, la fertilisation azotée influence les gliadines et les gluténine mais rarement les albumines et les globulines et qu'elle a un effet beaucoup plus sur les gliadines que les gluténines, en plus Dong et al. (1992) déclarent que c'est la composition en gluténine qui détermine la résistance au pétrissage et pas le taux en protéine.

Cependant, Uhlen et al. (1998) ont montré que le taux de protéines est corrélé positivement avec la hauteur du pic et la résistance au pétrissage, nos résultats corroborent aux résultats trouvés par Ladraa (2013) et Abdellaoui (2007).

### **5.5) Matrice de corrélation :**

La matrice révèle des corrélations positives et négatives pour plusieurs paramètres étudiés (tableau 21), le taux des protéines grain est corrélé positivement avec le volume de sédimentation, le gluten humide, gluten sec, taux d'hydratation et hauteur de pic avec un coefficient de corrélation et une probabilité de ( $r=0.36$  ;  $p < 0.05$ ), ( $r=0.90$  ;  $p<0.001$ ), ( $r=0.87$  ;  $p<0.001$ ), ( $r=0.41$  ;  $p<0.05$ ) et ( $r=0.76$  ;  $p<0.001$ ) respectivement, et négativement avec le taux de mitadinage, poids spécifique, et la teneur en cendre avec un coefficient de corrélation et une probabilité ( $r= -0.81$  ;  $p<0.001$ ), ( $r= -0.76$  ;  $p<0.001$ ) et ( $r= -0.57$  ;  $p<0.001$ ), les mêmes corrélations sont observées pour le taux de protéines des semoules avec des corrélations positives ( $r=0.38$  ;  $p < 0.05$ ), ( $r=0.85$  ;  $p<0.001$ ), ( $r=0.82$  ;  $p<0.001$ ), ( $r=0.39$  ;  $p<0.05$ ) et ( $r=0.77$  ;  $p<0.001$ ) et des corrélations négatives ( $r= -0.79$  ;  $p<0.001$ ), ( $r= -0.74$  ;  $p<0.001$ ) et ( $r= -0.55$  ;  $p<0.001$ ), donc l'augmentation de la fertilisation azotée et par conséquent le taux des protéines agit positivement sur les paramètres de qualité du blé dur et augmente la capacité d'hydratation de semoule, et diminue le taux de mitadinage et le taux des impuretés .

Le taux de mitadinage montre des corrélations négatives avec l'ensemble des paramètres de qualité dont le volume de sédimentation, le gluten humide, gluten sec, taux d'hydratation et hauteur du pic avec un coefficient et une probabilité de ( $r= -0.33$  ;  $p<0.001$ ), ( $r= -0.72$  ;  $p<0.001$ ), ( $r= -0.72$  ;  $p<0.001$ ), ( $r= -0.28$  ;  $p<0.05$ ) ( $r= -0.65$  ;  $p<0.001$ ) respectivement et des corrélations positives avec le poids spécifique et le taux de cendre grain avec ( $r=0.53$  ;  $p<0.01$ ) et ( $r=0.50$  ;  $p<0.001$ ) respectivement.

Le taux de cendre montre une corrélation positive et très hautement significative avec le poids spécifique avec ( $r=0.45$  ;  $p<0.001$ ) et des corrélations négatives avec les paramètres de qualité à savoir : le volume de sédimentation, gluten humide, gluten sec et hauteur de pic avec un coefficient de corrélation et une probabilité de ( $r= -0.27$  ;  $p<0.05$ ), ( $r= -0.52$  ;  $p<0.001$ ), ( $r= -0.53$  ;  $p<0.001$ ), ( $r= -0.51$  ;  $p<0.001$ ) respectivement. Le temps de pétrissage révèle une corrélation positive et hautement significative avec le volume de sédimentation avec un coefficient et une probabilité de ( $r=0.40$  ;  $p<0.01$ ).

	<b>pmg</b>	<b>Ps</b>	<b>mit</b>	<b>Ce g</b>	<b>Ce s</b>	<b>Pr g</b>	<b>Pr s</b>	<b>T E</b>	<b>SDS</b>	<b>I J</b>	<b>G H</b>	<b>G S</b>	<b>T H</b>	<b>T P</b>	<b>HP</b>
<b>Pmg</b>	1.00														
<b>Ps</b>	0.10	1.00													
<b>Mit</b>	0.17	0.53**	1.00												
<b>Ce g</b>	0.07	0.45***	0.50***	1.00											
<b>Ce s</b>	-0.03	0.24	0.07	0.15	1.00										
<b>Pr g</b>	-0.18	-0.76***	-0.81***	-0.57***	0.02	1.00									
<b>Pr s</b>	-0.24	-0.74***	-0.79**	-0.55***	-0.01	0.94	1.00								
<b>T E</b>	-0.48***	0.28	0.30	0.12	0.12	-0.29	-0.13	1.00							
<b>SDS</b>	-0.23	-0.56	-0.33***	-0.27*	-0.23	0.36*	0.38*	-0.06	1.00						
<b>I J</b>	-0.52***	-0.01	-0.17	-0.04	0.03	0.14	0.25	0.51	-0.04	1.00					
<b>G H</b>	0.01	-0.64	-0.72***	-0.52***	0.05	0.90***	0.87***	-0.24	0.16	0.28	1.00				
<b>G S</b>	-0.14	-0.57	-0.72***	-0.53***	0.11	0.85***	0.82***	-0.11	0.11	0.24	0.86	1.00			
<b>T H</b>	0.20	-0.30	-0.28*	-0.15	-0.11	0.41*	0.39*	-0.31	0.15	0.18	0.55	0.06	1.00		
<b>T P</b>	-0.32	-0.06	-0.23	0.12	-0.14	0.03	0.13	0.11	0.40**	0.27	-0.05	-0.12	0.17	1.00	
<b>H P</b>	-0.12	-0.56	-0.65***	-0.51***	-0.09	0.76***	0.77***	-0.17	0.48	0.15	0.69	0.62	0.40	0.19	1.00
<b>Jug</b>	-0.37	-0.53	-0.35	-0.39	-0.13	0.53	0.53	0.14	0.55	0.13	0.35	0.40	0.05	0.15	0.56

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

**Pmg** : poids de mille grains, **Ps** : poids spécifique, **Mit** : mitadinage, **Ce g** : cendre grains, **Ce s** : cendres semoule, **Pr g** : protéines grains, **Pr s** : Protéine semoule, **TE** : taux d'extraction, **SDS** : volume de sédimentation, **I J** : indice de jaune, **IB** : indice de brun, **G H** : gluten humide, **G S** : gluten sec, **T H** : taux d'hydratation, **T P** : temps de pétrissage, **HP** : hauteur de pic

**Tableau 21:** Matrice de corrélation de quelques paramètres physicochimiques, technologiques et rhéologiques

### **Conclusion :**

Les résultats de cette étude montrent que le bon choix variétal joue le rôle pivot dans la détermination du rendement et de la qualité du blé dur, et que la fertilisation azotée adéquate participe souvent à l'expression du potentiel génétique du blé dur et par conséquent sur la valorisation du rendement et de la qualité de celui-ci.

- Le rendement grains paraît être influencé par le génotype d'une part et par l'augmentation de la dose d'azote d'autre part, la variété Boussalem semble être la meilleure du point de vue rendement avec une moyenne de 31,02q/ha suivi par Mohamed Ben Bachir et Waha avec respectivement 30,42 et 27,36 q/ha. Pour les variétés Boussalem et Mohamed Ben Bachir, le rendement maximal est obtenu par la dose D5 avec respectivement 38,03 et 36,51qx/ha mais du point de vue économique l'utilisation de la dose D4 sera mieux pour les deux variétés car la dose D4 nous donne des rendements de l'ordre de 37,86 et 36,88 qx/ha qui sont proches de la D5, alors que le rendement maximal pour la variété Waha est obtenu par la D5. Donc pour les agriculteurs, l'utilisation des variétés Boussalem et Mohamed Ben Bachir est mieux pour avoir plus de bénéfice (rendement) et un coût de production moindre (D4).
- Le PMG et PS, deux paramètres très demandés par l'industrie de première transformation, ils sont influencés d'après notre étude par le génotype d'une part et par la fertilisation azotée d'autre part. Pour le PMG, les variétés Mohamed Ben Bachir et Waha ont des grains moyens alors que Boussalem a de gros grains. Pour le poids spécifique, les valeurs trouvées sont supérieures à 80 kg/hl alors que l'industrie exige de valeurs supérieures à 78 kg/hl.
- Pour la moucheture, aucun effet n'a été enregistré, les trois variétés montrent une résistance génotypique à la moucheture.

- Pour le mitadinage, il est sous l'influence du génotype et de la fertilisation, nos variétés semblent être résistantes au mitadinage, l'utilisation de la fertilisation diminue le taux de mitadinage de 16,13% à 1,55% lors du passage de D0 à D1.
- Le taux de cendre est influencé par le génotype d'une part et les doses d'azote d'autre part. Les résultats de notre étude sont inférieurs aux normes exigés par l'industrie de première transformation que ce soit pour les grains (< 2.1%) ou pour la semoule (<1.3%). Donc les grains et semoules sont acceptés que ce soit la variété (Boussalem, Waha ou Mohamed Ben Bachir) ou la dose d'azote utilisée.
- Le taux des protéines est le critère le plus important pour l'industrie, il est influencé d'après notre étude à la fois par le génotype et la fertilisation azotée. Les variétés Boussalem et Waha semblent être les meilleurs du point de vue teneur en protéine (qualité) avec une moyenne de 15,65 et 15,64% respectivement alors que Mohamed Ben Bachir a une teneur de l'ordre de 15,31%. Pour les variétés Boussalem et Mohamed Ben bachir, le taux des protéine maximal est obtenu par la D5 avec respectivement 17,16 et 17% mais du point de vue économique, l'utilisation de la dose D4 sera mieux pour les deux variétés car la dose D4 nous donne un teneur en protéine de l'ordre de 16,7 et 16,46 % qui sont proches à la D5, alors que la teneur en protéine maximale pour la variété Waha est obtenus par la D4. Donc pour les agriculteurs, l'utilisation des variétés que ce soit Boussalem, MBB ou Waha est mieux pour avoir un produit de qualité avec un coût de production moindre (l'utilisation de la dose D4).
- Le gluten donne une indication globale sur la quantité et la qualité des protéines. Il se trouve effectivement influencé par le génotype et par la fertilisation azotée positivement. La teneur en gluten humide et sec varie selon le génotype dont le teneur optimale en gluten humide est enregistrée avec la variété Boussalem avec 43,97% suivi par Waha avec 43,31% et MBB avec 38,55% alors que pour la teneur optimale

en gluten sec, elle est enregistrée avec la variété Waha suivie par Boussalem et puis MBB avec respectivement 13,79 ; 13,2 et 12 ;73%. La différence enregistrée indique la capacité de stockage d'eau qui existe dans chaque variété, la valeur du gluten sec enregistrée avec MBB est presque semblable à celle enregistrée avec Waha et Boussalem malgré le faible pourcentage enregistré en gluten humide (38%). Cela nous donne une idée sur la capacité élevée de stockage qui existe chez MBB. Pour la fertilisation, la valeur moyenne optimale du gluten sec et humide est enregistrée dans la D5 avec 14,26 et 49,35% respectivement. Donc, l'augmentation des doses d'azote améliore l'expression de la valeur génétique des trois variétés. On aura effectivement un passage du blé dur d'un blé insuffisant (D0) vers un blé de bonne valeur pastière un blé de force.

- L'analyse de la qualité des protéines de semoule par le test de sédimentation SDS (Sodium Dodécyl Sulfate) montre un effet très hautement significatif du facteur génotype et un effet hautement significatif de la dose, le volume moyen optimal est donné par la variété Mohamed Ben Bachir avec 32,45 mm suivi par Waha et Boussalem avec respectivement 29,71 et 25,66 mm, pour la fertilisation azotée la D5 semble être la meilleure dose pour avoir une bonne aptitude boulangère et un bon pouvoir de gonflement avec un volume de l'ordre de 31,22 mm, pour la variété Boussalem l'utilisation de la dose D3, D4 ou D5 donne un volume 30,66, concernant Waha la D5 donne le volume optimal avec 28,33. On a enregistré pour Mohamed Ben Bachir le volume optimal (34.66 mm) avec les doses D3, D4 et d5, donc on aura effectivement une meilleur qualité des protéines avec MBB et avec un coût encourageant aux agriculteurs par l'utilisation de la dose D3 ou D4.
- La coloration jaune des semoules est un critère très demandé par les consommateurs. D'après notre étude, elle est soumise à l'influence du facteur génotype, la meilleure

coloration est enregistrée chez la variété Waha puis Mohamed Ben Bachir et Boussalem avec des valeurs 21.85, 21.15 et 19.57 respectivement. Donc du point de vue commerciale les variétés Waha et MBB semblent être appréciables par les consommateurs.

- L'analyse des semoules au mixographe montre une supériorité de MBB au point de vue résistance de la pâte au pétrissage avec un temps de 2.18 mn suivi par Waha et Bousslem avec respectivement 1.97 et 1.96 minutes.

**Références:**

**AALAMI M., PRASADA RAO U.J.S., LEELAVATHI K., 2007:** Physicochemical and biochemical characteristics of Indian durum wheat varieties: Relationship to semolina milling and spaghetti making quality Food Chemistry (102), pp 993–1005

**ABAD A., LOVERAS J., MICHELENA A., 2004:** Nitrogen fertilization and foliar urea effects on durum wheat yield and quality and on residual soil nitrate in irrigated Mediterranean conditions. Field Crops Research (87) pp 257–269.

**ABDELLAOUI Z., 2007 :** Etude de l'effet de la fertilisation azotée sur les propriétés Techno-fonctionnelles des protéines de blé. Institut national agronomique El Harrach Alger Département Technologie Alimentaire Option : sciences alimentaires. Thèse en vue de l'obtention du diplôme de magister en sciences agronomiques.

**ABDELLAOUI Z., MARICHE O., 2008 :** Effet de la fertilisation azotée sur l'expression de la qualité technologique du blé dur : propriétés physico-chimiques. *Céréaliculture*, n°50: 18-28.

**ABECASSIS J., BOGGINI G., CUQ B., NAMOUNE H., 2012:** Other Traditional Durum Derived Products, In: M.J. Sissons, M. Carcea, M. Marchylo, J. Abecassis, Durum Wheat: Chemistry and Technology, second éd. AACC International, 2012.

**ABECASSIS J., AUTRANJ C., FEILLET F., 1996 :** La qualité technologique. In: blé dur, brochure de l'institut technique des céréales et des fourrages (ITCF) et l'office national interprofessionnel des céréales.

**ABIDI L., 2009 :** Etude de l'interaction génotype-environnement sur les paramètres agronomiques et technologiques de quelques variétés de blé dur (*Triticum durum Desf.*), mémoire magister Blida ; pp 127.

**AFNOR ., 1991 :** 178, Norme Codex pour la semoule et la farine de blé dur.

**AFNOR., 1995 :** Recueil de normes- contrôle de la qualité des produits alimentaires : Analyse sensorielle. AFNOR. 5<sup>ème</sup> édition. Paris. 400 pages.

**ALBRIZIO R., TODOROVIC M., MATIC T., STELLACCI A.M., 2010:** Comparing the interactive effects of water and nitrogen on durum wheat and barley grown in a Mediterranean environment Field Crops Research (115), pp 179–190.

**ALLAYA M., RUCHETON G., 2006 :** « Agriculture, pêche, alimentation et développement rural durable dans la région méditerranéenne: situations et perspectives », Chap2 : L'approvisionnement céréalier des pays méditerranéens. Agri. Med. Rapport annuel du CIHEAM, Paris, 2006, pp: 35-47.

**AMELIE B., 2007:** Approches biomimétiques de l'assemblage de protéines de réserve de blé, thèse pour l'obtention d'un grade docteur, université Bordeaux, pp145.

**ANDERSON K., HOYLE F.C., 1999:** Nitrogen efficiency of wheat cultivars in a Mediterranean environment. *Australian Journal of Experimental Agriculture* 39(8), pp 957-965.

**ANONYME., 1999 :** Fertilisation azotée des céréales cas des blés en Bour et en irrigué bulletin mensuel d'information et de liaison pnntta transfert de technologie en agriculture 4p.

**ANONYME., 2000 :** qualité des blés durs cultivés en Algérie, Brochure Institut Technique des grandes cultures.

**ANONYME., 2006 :** Amélioration de la valeur technologique et commerciale du blé dur : vers une réduction des taux de moucheture et de mitadin. Colloque régional du 21 juin 2006 « Campus INRA-AGRO Montpellier » : 4p.

**BAHLOUL A., 1989 :** Contribution à l'étude de la fertilisation azotée en méditerranée, méthode des bilans. Thèse D.E.A. INRA et ITCF Montpellier – France, 65 p +annexes.

**BAHLOULI F., BOUZERZOUR H., BENMAHAMMED A., 2009:** Etude des mécanismes de stabilité du rendement grain de quelques génotypes de blé dur (*Triticum durum* Desf.) sous climat semi-aride ; *Annales de la Faculté des Sciences et Sciences de l'Ingénieur* Vol. 1 N° 3 ; 11p.

**BAHLOULI F., BOUZERZOUR H., BENMAHAMMED A., HASSOUS K.L., 2005:** Selection of high yielding and risk efficient durum wheat (*Triticum durum* Desf.) cultivars under semi arid conditions. *Pakistan Journal of Agronomy* (4):pp 360-365.

**BAKHELLA M., AKIL M., 1996 :** Appréciation de la valeur semoulière des principales variétés marocaines de blé dur *Actes Inst. Agron. Veto (Maroc)*, Vol. 16 (3): p19-28.

**BARKOUTI A., 2012 :** Agglomération humide de poudres à réactivité de surface -Approche mécanistique de la morphogénèse de structures alimentaires agglomérées Thèse pour obtenir le grade de docteur de l'université Montpellier II .185p.

**BATTAIS F., RICHARD C., LEDUC V., 2007 :** les allergènes du grain du blé, Département recherche, laboratoire ALLERBIO, Groupe ALK-Abello, 51140 Van deuil, France *Revue française d'allergologie et d'immunologie clinique* 47 ; pp 171-174.

**BELAID D., 1986 :** Aspect de la céréaliculture Algérienne . 82p.

**BELLOULA B., 1981 :** Contribution à l'étude de l'action de la fertilisation azotée fractionnée sur une culture de blé tendre. Thèse Ing. INA – El-Harrach (Alger);108 p.

**BENBELKACEM A., BRINIS L., SADLI F., 1995 :** La recherche pour la qualité des blés durs en Algérie. In: DiFonzo N. (ed.), Kaan F. (ed.), Nachit M. (Ed.). *Durum wheat quality in the Mediterranean region*. Zaragoza: CIHEAM. p. 61 -65 (Options Méditerranéennes : Série A. Séminaires Méditerranéens ; n. (22).

**BENCHARIF A., TOZANLI S., LEMEILLIEUR S., 2009 :** Dynamique des acteurs dans les filières agronomiques et agroalimentaires. Options Méditerranéennes, B 64, Perspectives des politiques agricoles en Afrique du Nord ; pp 94-142.

**BENCHARIF A., RASTOIN J.L., 2007 :** Concepts et Méthodes de l'Analyse de Filières Agroalimentaires : Application par la Chaîne Globale de Valeur au cas des Blés en Algérie. CIHEAM-IAMM, UMR MOISA, Montpellier F-34093, working paper N°7. 23P.

**BONJEAN A., 2001 :** Histoire de la culture des céréales et en particulier celle de blé tendre (*Triticum aestivum* L.). Dossier de l'environnement de l'INRA, N°21 :29-37.

**BORRELLI G.M., DE LIONARDIS A.M., FARES C., PLATANI C., DI FANZO N., 2003:** effect of modified processing conditions on oxidative properties of semolina dough and pasta. Cereal chemistry (80); pp 225-231.

**BOUACHA O.D., NOUAIGUI S., REZGUI S., 2014:** Effects of N and K fertilizers on durum wheat quality in different environments, Journal of Cereal Science (59), pp 9-14.

**BOUDREAU A., MATSUO R., LAING W., 1992 :** L'industrie des pâtes alimentaires, pp : 193-223. In « Le blé. Eléments fondamentaux et transformation ». Coordonnateurs : Boudreau A. et Menard G., Ed. Les presses de l'Université Laval, Canada. 439 pages.

**BOUFENAR - ZEGHOUANE F., et ZAGHOUANE O., 2006 :**« Guide des principales variétés de céréales à paille en Algérie (blé dur, blé tendre, orge et avoine) », ITGC ICARDA. 1ère édition ITGC. Algérie, 154 p.

**BOURDREAU A., MENARD G., 1992 :** Le blé : éléments fondamentaux et transformation. Les presses de l'université Laval. Canada, 435p.

**BOUSSARD J.M., CHABANE M., 2011:** La problématique des céréales en Algérie Défis, enjeux et perspectives. Communication dans le cadre de la 5èmes Journées de recherches en sciences sociales à AgroSup Dijon, les 8 et 9 décembre 2011, p 16.

**BRANLARD G., 1999 :** Des protéines sélectionnées pour améliorer la valeur d'utilisation des blés.

**BRANLARD G., LEBLANC A., 1985 :** les sous unités gluténines des haut poids moléculaire des blés tendres et blés durs cultivé en France, pp 467.477.

**CHRISTRAIN S., JEAN C., JACQUES D., 2005 :** Guide de la fertilisation raisonnée, Grandes cultures et prairies Edition France agricole 2005.pp 309-310.

**CHEHAT F., 2007 :** Analyse macroéconomique des filières, la filière blés en Algérie. Projet PAMLIM « Perspectives agricoles et agroalimentaires Maghrébines Libéralisation et Mondialisation » Alger : 7-9 avril 2007.

**CHERFIA R., 2010:** Etude de la variabilité morpho-physiologique et moléculaire d'une collection de blé dur algérien (*Triticum durum Desf*), mémoire magister en biotechnologie, université Constantine, 77p.

**CHENNAFI H., AIDAOUI A., BOUZERZOUR H., SACI A., 2006:** Yield reponse of durum wheat (*Triticum durum Desf.*) cultivar Waha to deficit irrigation under semiarid growth condition. *Asian J. plant Sci*, (5), pp 854-860.

**CIC 2007 :** bulletin bimensuel « Blé dur: situation en 2007-2008 et Perspectives », vol. 20, N°18, 05 décembre 2007, pp: 1- 4.

**CHOUANA T., 2011 :** étude technologiques de quelques lignées et variétés de blés durs sélectionnés en Algérie, mémoire magister, école national supérieur agronomique, option Sciences alimentaires Option : Sciences alimentaires, 84p.

**CHRISTIANE R., 1999 :** Lacroix (clift) azote culture légumières et fraisiers environnement et qualité, horti pratic. pp 12-13.

**CUBADDA R., 1997:** Evolution of durum wheat, semolina and pasta in Europe. In. Durum wheat, chemistry and technology. Fabriani G et Lintas C. pp 217-235.

**CLEMENT M., GRANDCOURT J., PARTS., 1975 :** Les céréales collections d'enseignement agricole 2 ème éds ; Baillière France. pp 60-61.

**COSSANI C.M., SLAFER G.A., SAVIN R., 2012:** Nitrogen and water use efficiencies of wheat and barley under a Mediterranean environment in Catalonia, *Field Crops Research* (128); pp 109–118.

**DAGHER S.M., 1991:** Traditional food in the Near East, FAO, food and nutrition paper (50), Rome, 161 pages.

**DACOSTA Y., 1986 :** Le gluten de blé et ses applications. APRIA. Association pour la promotion industrielle agriculture. Paris édition, pp : 29-56.

**DANIEL C., TRIBOI E., 2000 :** Effects of Temperature and Nitrogen Nutrition on the Grain Composition of Winter Wheat: Effects on Gliadin Content and Composition, *Journal of Cereal Science* (32), pp45–56.

**DEBBOUZ A., DICK J.W., and DONNELLY B.J., 1994:** Influence of raw material on couscous quality. *Cereal Foods World*. Vol. 39. pp 231-236.

**DEKKICHE N., SEBA S., 2011 :** Cartographie et caractérisation morphologique des fermes de démonstration et de production de semences de l'ITGC par l'utilisation du SIG, institut technique des grandes cultures El-Harrach .64p.

**DEXTER J.E., EDWARDS N.M., 1998:** Incidence des facteurs de classement fréquemment détectés sur l'aptitude technologique du blé dur, Commission canadienne des grains,

Laboratoire de recherches sur les grains, Winnipeg (Manitoba) R3C 3G8 Contribution No M231 Présenté à la 102nd Association of Operative Millers Trade Show, Phoenix (Arizona) mai 1998.

**DEXTER J.E., MARCHYLO B.A., MACGREGOR A.W., TKACHUK R., 1989:** The structure and protein composition of vitreous piebald and starchy durum wheat kernels. *Journal of Cereal science.*(10), pp 19-32.

**DEXTER J.E., EDWARDS N.M., 2001:** The implication of frequently encountered gradings factors on the processing quality of durum wheat. *Tec.Molitoria* 52.

**DEXTER JE., 2008 :** Historique de l'amélioration du blé dur au Canada et sommaire des recherches récentes de la commission canadienne des grains sur certains facteurs associés à la transformation du blé dur. Laboratoire de recherches sur les grains, Commission canadienne des grains, 1404-303, rue Main Winnipeg (Manitoba) R3C 3G8 Canada, 18p.

**DJERMOUN A., 2009 :** La Production céréalière en Algérie: les principales caractéristiques. *Nature et Technologie*, 01: pp 45–53.

**DJENANE A.M., 1992 :** Quelques résultats du programme de la vulgarisation de l'intensification céréalière dans la région des Hautes Plaines Sétif Fiennes. Séminaire maghrébin La vulgarisation agricole au Maghreb: théorie et pratique, avril 1992. Alger.

**DJENNADI A. F., RAFOUFI B., 2008 :** Etude de l'effet de fractionnement de la fertilisation azotée sur l'amélioration du rendement et sur la teneur en protéines du grain chez le blé dur dans la région de Sétif. *Céréaliculture revue* n°51 2<sup>ème</sup> semestre .pp 5-12.

**DICKI J.W., QUICK J.B., 1983:** A modified screening test for rapid estimation of gluten strength in early-generation durum wheat breeding lines, *Cereal Chemistry*, 60, pp 315-318.

**DONG H., SEARS R.G., COX R.C., HOSNEY C., LOOKHART G.L., SHOGREN M.D., 1992:** Relationships between protein composition and mixograph and loaf characteristics in wheat , *cereal chem.* 69 (2) pp 132-136.

**ELIASSON A.C., LUNDH G., 1989:** Rheological and inter facial behavior of some wheat protein fractions .*Food and Nutrition*, JTS.20: pp 431-441.

**EVANS L.T., WARDLAW I.F., FUSCHER R.A., 1975:** Wheat. In: Evans LT, ed. *Crop physiology: some case histories*. Cambridge: Cambridge University Press, pp 101-149.

**FAO., 2005 :** Utilisation des engrais par culture en Algérie. Service de la gestion des terres et de la nutrition des plantes Division de la mise en valeur des terres et des eaux. Rome, 2005. 43p.

**FAO STAT., 2007:** Statistical database of the food and agriculture organization of the United Nations.

**FEILLET P., 1988:** Protein and enzyme composition of durum wheat. In : chemistry and technology. Fabrian;G, Lintas; C. ed , American Association Cereal Chemistry. St Paul ; MN.

**FEILLET P., 2000 :** Le grain de blé, composition et utilisation, Paris : 303 p.

**FENN D., LUKOW O.M., BUSHUK W., DEPAUW R.M., 1994:** Milling and baking quality of IBL/IRS translocation wheats: effect of genotype and environment.

**FINK A., 1982:** Fertilizers and Fertilization: introduction guide to crop fertilization. ED verlag chemie Florida. 438p.

**FOIS S., MOTZO R., GIUNTA F., 2009:** The effect of nitrogenous fertilizer application on leaf traits in durum wheat in relation to grain yield and development, Field Crops Research (110) ; pp 69–75.

**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.

**FREDOT E., 2005 :** Connaissance des aliments. TEC & DOC, Paris, 397p.

**GATE P., JEZEQUEL S., CASTILLON P., LACONDE J.P., 1996 :** Bien remplir le grain et limiter le mitadinage. Institut technique de céréale et des fourrages, Brochure 1993-1996, Blé dur, pp 36-43.

**GALLAIS A., BANNEROT H., 1992 :** Amélioration, objectifs et critère de sélection des espèces végétales cultivées : INRA paris. 23p.

**GARRIDO-LESTACHE E., LOPEZ-BELLIDO R.J., LOPEZ-BELLIDO L., 2005:** Durum wheat quality under Mediterranean conditions as affected by N rate, timing and splitting, N form and S fertilization Europ. J. Agronomy (23), pp 265–278.

**GATE P., 1995 :** Ecophysiologie du blé ED Tec Doc Lavoisier, Paris. 429p.

**GERBA L., GETACHE W., BELA Y., WALELIGN W., 2013:** Nitrogen Fertilization Effects on Grain Quality of Durum Wheat (*Triticum turgidum L.Var.Durum*) Varieties in Central Ethiopia. Journal of Agricultural Sciences Vol. 1(1), pp 1-7.

**GHEZLANE L., 1979:** Etude comparée de la qualité technologique de cinq variétés de blé dur cultivées en Algérie, Thèse de Magister, INA (Alger).

**GIDON B., WILLM C., 1998 :** les industries de première transformation des céréales. ED Tec et Doc .Lavoisier

**GUENDOUZ A., MAAMARI K., 2011:** Evaluating durum wheat performance and efficiency of senescence parameter usage in screening under Mediterranean conditions, Electronic Journal of Plant Breeding 2(3): pp 400-404.

**GUEZLANE L., 1993 :** Mise au point de méthodes de caractérisation et étude des modifications physico-chimiques sous l'effet des traitements hydrothermiques en vue d'optimiser la qualité du couscous de blé dur. Thèse de Doctorat d'Etat. INA, El Harrach, Algérie. 89 p.

**HALILAT M., 1993 :** Etude de la fertilisation azotée et potassique sur blé dur en zone Saharienne. Thèse Magister, INES d'agronomie de Batna, 108p.

**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 1ere semestre, pp 57-62.

**HAMADOU D., DJENNADI F., DEHNOUN Z., DJENNADI R., LEDRA M., 2012 :** Evaluation des opérations d'entretien des cultures céréalières : cas de la fertilisation du fond et de couverture, céréaliculture n° 59, pp 62-68.

**HAMEL L., 2010 :** Appréciation de la variabilité génétique des blés durs et des blés apparentés par les marqueurs biochimiques. Mémoire magister, Département de Biologie végétale et d'écologie ; Université Mentouri Constantine. 83p.

**HARLAN J.R., 1975:** Crops and Man. *ASA and CSSA*, Eds. *Madison, Wisconsin*, 325 pages.

**HAWKESFORD M.J., 2014:** Reducing the reliance on nitrogen fertilizer for wheat production, *Journal of Cereal Science* (59); pp 276-283.

**HEBERT J., 1975 :** Techniques nouvelles de production du blé. Document I.T.C.F, 16p.

**HEBRARD A., 2002 :** Granulation de semoules de blé dur. PhD thesis, ENSA Montpellier

**HERBERT W., WERNER S., 1998:** The influence of nitrogen fertilization on quantities and proportions of different protein types in wheat flour. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, V76, pp 49-55.

**HOULIAROPOULOS S., ABECASSIS J., AUTRAN J.C., 1981 :** Produits de mouture du blé dur : Coloration et caractéristiques culinaires, *Ind. Céréales*, 2-3, pp 13-18.

**HUNTER A.S., STANFORD G., 1973:** Protein content of winter wheat in relation to rate and time of nitrogen fertilizer application. *Agron. J.*65: pp 772-774.

**ITGC., 2000.** Qualité des blés durs cultivés en Algérie. 6p.

**ITGC., 2012.** Bulletin des grandes cultures N°3 mai-juin 2012 ,5p.

**ITGC ., 2013:** Brochure : comment raisonner la fertilisation azoté de vos céréales , la grande exposition de l'agriculture et du développement rural.

**JEANTET R., CRGUENNEC T., SCHUCK P., BRULE G., 2007 :** biochimie , microbiologie, procédés, produits. Sciences des aliments. V2 technologie des produits alimentaires.

**KARAM F., KABALAN R., BREIDI J., ROUPHAEL Y., OWEIS T.,2009:** Yield and water-production functions of two durum wheat cultivars grown under different irrigation and nitrogen regimes, agricultural water management 96, pp 603- 615.

**KELLOU R., 2008 :** Analyse du marché algérien du blé dur et les opportunités d'exportation pour les céréaliers français dans le cadre du pole de compétitivité qualité-méditerranéen le cas coopérative sud céréales, groupe coopératif accitan et Auecoop. Thèse master en science IAAMM n°93 .CIHEMM Montpellier .160 pages.

**KHAN K., BUSHUK W., 1979:** Studies of glutenin XIII. Gel filtration isoelectric focusing, and amino acid composition studies. Cereal chem. N°56, pp 505-512.

**KLING C.I., UTZ H.F., MUNZING K., 2000:** Variation of quality traits in durum wheat in relation to variety and environment. In, Durum wheat, semolina and pasta quality. Inra Editions. pp 61-65.

**KRUGER J.E., MARCHYLO B.A., 1985:** Selection column and operating conditions for reversed-phase high-performance liquid chromatography of proteins in Canadian wheat. Can. J. Plant Sci. N°64, pp 285-298.

**LADRAA N., OUNANE G., 2013 :** qualité technologique de quelques variétés de blé dur cultivées en Algérie. Céréaliculture n° 60, pp 5-29.

**LEBRUM D., L'HELGOUACH C., 2001:** Fertilisation azotée. Quelles conséquences sur la qualité des protéines du blé tendre. Perspectives agricoles N° 266 Mars 2001

**Le bulletin bimensuel du CIC., 2007 :** « Blé dur: situation en 2007-2008 et Perspectives », vol. 20, N°18, 05 décembre 2007, pp 1- 4.

**LEVY A.A., FELDMAN M., 2002:** The impact of polyploidy on grass genome evolution. Plant Physiol. (130): pp 1587-1593.

**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.

**LOPEZ-BELLIDO R.J., LOPEZ-BELLIDO L., 2001:** Efficiency of nitrogen in wheat under Mediterranean conditions: effect of tillage, crop rotation end N fertilization, Field crops research (71), pp 31-46.

**LUO C., BRANLARD W.B., GRIFFIN W.B., MC NEIL D.L., 2000:** The effect of nitrogen and sulfur fertilization and their interaction with genotype on wheat glutenins and quality parameters. J. Ceral Sci.m N°31, pp 185-194.

**MACRITCHIE F., 1984:** Baking quality of wheat flours. Adv. Food Res.29; pp 201-277.

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

**MADR ,2009.** Statistiques Agricoles Série B 09.

**MARIANA S., 2011 :** Dynamique d'assemblage des protéines de réserve et du remplissage du grain de blé dur, thèse Présentée pour l'obtention du titre de docteur du centre international d'étude supérieures en sciences agronomiques de Montpellier, 261p.

**MARTIN R.J., SUTTON K.H., MOYLE T.H., HAY R.L., GILLESPIE R.N., 1992:** Effect of nitrogen fertilizer on the yield and quality of six cultivars of autumn-sown wheat. Crop Hortic.Sci, N°20, pp 273-282.

**MARTINANT J.P., NICOLAS Y., BOUGUENNEC T., POPINEAU Y., SAULNIER L., BRANLARD G., 1998:** Relationships between Mixograph parameters and indices of wheat grain quality .Journal of cereal science 27, pp 179-189.

**MASLE M J ., 1981 :** Mise en évidence d'un stade critique par la montée d'une talle »Agronomie, 1, pp 623-632.

**MASLE M J ., 1980 :** L'élaboration du nombre d'épis chez le blé d'hiver ,influence de différentes caractéristiques de la structure du peuplement sur l'utilisation de l'azote et de la lumière , thèse de Docteur-ingénieur INA PG , paris, 274p.

**MATVEEF M., 1966:** Influence du gluten des blés durs sur la valeur des pâtes alimentaires, Bull. anc. Ed. Fr. Meunerie, 213, pp 133-138.

**MAUZE C., RICHARD M ., et SCOTTI G.,1972 :** « Guide pratique de contrôle de la qualité de blés durs », ITGF., Paris , 176 p.

**MAZOYER M., AUBINEAU M., BERMOUND A., BOUGLER J., NEY B., ROGER J., 2002 :** Larousse agricole Ed, Mathilde majorel 767p.

**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.

**MESSABIHI M., 2008.** Ionisation d'un blé dur : incidences biochimiques et physiologiques, mémoire d'ingénieur d'état en Agronomie, Technologie alimentaire et nutrition humaine, 70p.

**MICARD V., ABECCASSIS J ., HEMERY Y ., LULLIEN-PELLERIN Y ., PETOT M ., ROUAU X .,2009 :** Produits Céréaliers Influence des procédés sur leurs propriétés

nutrionnelles, « De l'assiette au champ : Le retour de la qualité » ;UMR IATE (MTP SupAgro-INRA- UMII- CIRAD)22 Octobre 2009-Montpellier.

**MONNEVEUX P., 1984 :** amélioration de la qualité pastière du blé dur (*Triticum durum* Desf) ; études des relation entre les diagrammes électro phorétiques des gliadines et certaines caractéristiques technologiques ; avec la collaboration de Merle ; J .C et Blanc. J F .pp 1-10.

**MOROT-GAUDRY J.F., 1997 :** assimilation de l'azote chez les plantes. Aspect physiologique, biochimique et moléculaire. INRA Paris. 422 p.

**NEMAT A., NOURELDIN H.S., SAUDY F., ASHMAWY H.M., SAED ., 2013:** Grain yield response index of bread wheat cultivars as influenced by nitrogen levels *Annals of Agricultural Science* 58(2), pp 147–152.

**OSBORNE T.B., 1907:** The proteins of the wheat kernel. Carnegie Institute, Washington .Publ.84. pp 1-119.

**OUNANE G., CUQ B., ABECASSIS J., YESLI A., OUNANE S.M., 2006:** Effects of physic chemical characteristics and lipid distribution in algerian durum wheat semolina on the technological quality of couscous. *Cereal chem.* Vol. 83. pp 377–384.

**PARKER G.D., CHALMERS K.J., RATHJEN A.J., LANGRIDGE A.P., 1998:** .Mapping Loci associated with flour colour in wheat (*Triticum aestivum* L.).*Theor Appl Genet* 97: pp 238 –245.

**PASQUALE D., ORAZIO L ., FRANCA N ., CRISTIANO P .,CARMEN R ., NATALE D ., LUIGI C.,2007 :** Breeding progress in morph-physiological, agronomical and qualitative traits of durum wheat cultivars released in Italy during the 20th century *Europ. J. Agronomy* 26, pp 39–53.

**PATRICK J.F., 2006 :** Influence des fractions de mouture de blé tendre (farines patente, de coupure et basse) sur les propriétés rhéologiques des pâtes et caractéristiques des biscuits. Thèse de doctorat en sciences et Technologie des Aliments. Université Laval-Québec. 293p.

**PAUL C., 2007 :** Céréales et alimentation : une approche globale *Agriculture Environnement Alimentation et Céréales-INRA 07*, pp 1-4.

**PAYNE P.I., CORFIELD K.G., BLACHMAN J.A., 1979:** Identification of a high-molecular weight subunit of glutenin whose presence correlates with bread making quality in wheat soft related pedigree.*Theor. Appl. Genet.*55: pp 153-159.

**PELTONE J., 1995:** Grain yield and quality of wheat a affected by nitrogen fertilizer application timed according to apical development. *Acta. Agri. Scand. Sect. B. Soil and plant science*, N°45, pp 2-14.

**PETERSON C.J., JOHNSON V.A., and MATTERN P. J., 1986:** Influence of Cultivar and Environment on Mineral and Protein Concentrations of Wheat Flour, Bran, and Grain. Copyright by the American Association of Cereal Chemists, Inc. CerealChem63:pp183-186.

**PORCEDDU E., 1995:** Durum wheat quality in the Mediterranean Countries, Options Méditerranéennes, Série A: N°22, Zaragoza (ESP), University of Tuscia. Dept. Of Agrobiologie and Agrochimistry, Viterbo, Italy, pp 11-21.

**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.

**RHARRABTI Y., GARCIA DEL MORAL L.F., VILLEGAS D., ROYO C., 2003:** Durum wheat quality in Mediterranean environments. III. Stability and comparative methods in analyzing G \* E interaction. Field Crops Research 80, pp 141–146.

**RINALD M., 2004:** Water availability at sowing and nitrogen management of durum wheat: a seasonal analysis with the CERES-Wheat model Field Crops Research (89) ; pp 27–37.

**ROUDAUT H., LEFRANCQ E., 2005 :** Alimentation théorique , Série science des aliments , centre régional de documentation pédagogique d'Aquitane. 305 p.

**SAINT PIERRE C., PETERSON C.J., ROSS A.S., OHML J.B., VERHOEVEN M.C., LARSON M., HOEFER B., 2008.** Winter wheat genotypes under different levels of nitrogen and water stress: Changes in grain protein composition. Journal of Cereal Science 47, pp 407–416.

**SANTOSH D., 2012:** Basic and applied biochemistry, a practical manual, Department of Biochemistry College of Basic Sciences & Humanities CCS Haryana Agricultural University Hisar – 125 004, Haryana, India .101 p.

**SAPIRSTEIN H.D., DAVID P., PRESTON K.R., Dexter J.E., 2007:** Durum wheat bread making quality: Effects of gluten strength, protein composition, semolina particle size and fermentation time, Journal of Cereal Science (45); pp 150–161

**SCHULTHESS A., MATUS I., SCHWEMBER A.R., 2013:** Genotypic and environmental factors and their interactions determine semolina color of elite genotypes of durum wheat (*Triticum turgidum* L. var. durum) grown in different environments of Chile, Field Crops Research (149),pp 234–244.

**SERGE F., DENIS P., 1998 :** Ecosystème Structure Fonctionnement Evolution 2ème édition révisée et argumentée 4 ème tirage corrigé 202p.

**SHEWRY P.R., TATHAM A.S., FORDE J., KREIS M., MIFLIN B.J., 1986:** The classification and nomenclature of wheat gluten proteins: a reassessment. Journal of Cereal Science 4, pp 97-106.

**SIMON H., 1989 :** Produire des céréales à paille, agriculture d'aujourd'hui, Ed BAILLIERE JB, pois. 333p.

**SISSOUS M., 2008:** role of durum wheat composition of pasta and bread, a Global science Books; 90p.

**SOLTNER D., 2005 :** Les grandes productions végétales, 20ème édition, collection des sciences et techniques agricoles. 245p.

**SOUZA E.J., MARTIIN J.M., GUTTIERI M.J., O'BRIEN K.M., HABERNICHT D.K. , LANNING S.P., MCLEAN R., CARLSON G.R., TALBERT L.E. , 2004 :**Influence of genotype, environment, and nitrogen management on spring wheat quality.(Crop Breeding, Genetics & Cytology), Crop science,(44); pp 425-432.

**TOUTAIN G., 1979 :** Elément d'agronomie saharienne de la recherche au développement. Document INRAF, 138p.

**TRENTESAUX E., 1995 :** « Evaluation de la qualité du blé dur », Options Médit., Zaragoza(ESP), N°22, pp 53-59.

**TROCCOLI A., BORRELLI G.M., DE VITA P., FARES C., DI FONZK N., 2000 :** Durum wheat quality, a multidisciplinary concept.J. Cereal. Sci (32): pp 99-113.

**UHLEN A.K., HAFFSKKJOLD R., KALHOVD A.H., SAHLSTROM S., LONGVA A .I. et MAGNUS E.M. , 1998 :** Effects cultivars and temperature during grain filling on wheat protein content, composition and dough mixing properties. Cereals chem., Vol. 75, N°4, pp 460-465.

**VENSEL W.H., TANAKA C.K., CAI N., WONG J.H., BUCHANAN B.B., HURKMAN W.J., 2005 :** Developmental changes in the metabolic protein profiles of wheat endosperm. Proteomics 5, pp 1594-1611.

**VEZ A., 1975 :** La fumure azotée du blé d'automne sur la base d'expériences récentes. Revue suisse d'agri. 7, pp 177-188.

**WILLIAM S., HARMEIN F., NAKHOUL H., RIHAUR S., 1988:** crop quality evaluation methods and guidelines.

**YETTOU N.,AITKACI M., GUEZLANEL., AIT-AMAR H., 1997 :**Détermination des caractéristiques viscoélastiques du couscous cuit au moyen du viscoélastographe Chopin. Industrie Alimentaire et Agricole. Vol. 12. pp 844-847.

**YUN-FANG L., YU W., NAYELLI H., ROBERTO J., 2013:** Heat and drought stress on durum wheat: Responses of genotypes, yield, and quality parameters. *Journal of Cereal Science* pp 1-7.

**ZERARGUI H., BELAID A., BOUZIDI F., ADJABI A., BOUZERZOUR H., 2010:** apport de la nouvelle sélection de blé dur (*Triticum durum* Desf.) évaluée sous conditions semi-arides des hautes plaines orientales. *Céréaliculture Revue technique et scientifique ITGC, N°54* : pp 16-22.

**Annexe 1 :**

**Tableau 1:** effet de la dose d'azote sur les valeurs moyennes des paramètres étudiés

Dose	D0	D1	D2	D3	D4	D5	D6	moyen	LSD
Rendement grain	20.67	27.23	30.31	29.53	34.4	36.46	30.94	29,93	7,46
Poids de mille grains	48.05	45.97	45.29	44,48	45,04	42,74	43,83	45,05	2,96
Poids spécifique	84,01	83,56	82,3	81,87	81,87	81,32	80,81	82.24	0,87
Moucheture	0,18	0,27	0,3	0,1	0,12	0,095	0,015	0,17	ns
Mitadinage	16,13	1,55	0,31	0,073	0,01	0,04	0,06	2,59	2,24
Cendre grains	2	1,84	1,86	1,71	1,66	1,69	1,64	1,77	0,07
Cendre semoule	0,83	0,77	0,83	0,86	0,84	0,82	0,77	0,81	0,03
Protéines grains	11,48	13,66	15,74	16,5	16,83	17,14	17,27	15,53	0,77
Protéines semoule	10,27	12,46	14,24	15,08	14,96	15,72	15,74	14,06	ns
Taux d'extraction	57,2	54,9	53,65	53,7	55,36	54,95	55,46	55,05	2,93
Volume de sédimentati	25,94	27,11	28,66	30	30,88	31,22	31,11	29,27	2,66
Indice de jaune	19,7	21,18	20,96	20,85	20,01	21,85	21,46	17,79	1,78
Gluten humide	26,77	35,77	41,71	45,67	45,21	49,35	49,13	41,94	5,35
Gluten sec	9,55	11,37	13,14	14,06	14,26	14,96	14,49	13,11	1,34
Hauteur du pic	50,11	56,55	59,55	61,33	63,22	63,33	62,88	59,56	3,74
Temps de pétrissage	1,8	2,26	2,12	2,05	1,94	2,17	1,92	2,03	0,24

**Tableau 2:** Effet de la variété sur les valeurs moyennes des paramètres étudiés

Génotype	V1	V2	V3	Moyen	LSD
Rendement grain	31,02	27,36	30,42	29,93	2,36
Poids de mille grains	49,44	43,03	42,7	45,05	2,53
Poids spécifique	81,98	82,9	81,86	82,24	0,47
Moucheture	0,14	0,24	0,14	0,17	ns
Mitadinage	1,98	2,77	3,03	2,59	ns
Cendre grains	1,71	1,81	1,8	1,77	0,06
Cendre semoule	0,81	0,85	0,79	0,81	0,02
Protéine grains	15,65	15,64	15,31	15,53	0,27
Protéine semoule	14,03	14,15	14,02	14,06	0,48
Taux d'extraction	52,2	56,54	56,51	55,05	2,18
Volume de sédimentation	29,71	25,66	32,45	29,27	1,43
Indice de jaune	19,57	21,85	21,15	20,85	1,2
Gluten humide	43,97	43,31	38,55	41,94	2,69
Gluten sec	13,2	13,79	12,37	13,12	0,74
Huteur du pic	60,09	58,47	60,14	59,56	1,94
Temps de pétrissage	1,96	1,97	2,18	2,03	0,11

**Annexe2** : Tableaux d'analyse de la variance et la comparaison des moyens des paramètres étudiés

**1) Rendement :**

Source de variation	DDL	SCE	CM	F	P
<b>Blocs</b>	<b>2</b>	<b>67.76</b>	<b>33.88</b>	<b>0.6411</b>	<b>0.5438</b>
<b>Dose</b>	<b>6</b>	<b>1413.15</b>	<b>235.52</b>	<b>4.4564</b>	<b>0.01*</b>
<b>Génotype</b>	<b>2</b>	<b>210.41</b>	<b>105.2</b>	<b>7.491</b>	<b>0.0025**</b>
<b>Dose*Génotype</b>	<b>12</b>	<b>160.76</b>	<b>13.39</b>	<b>0.95</b>	<b>0.51</b>
<b>Erreur</b>	<b>28</b>	<b>393.2</b>	<b>14.04</b>		
<b>total</b>	<b>62</b>	<b>2879.49</b>	<b>46.44</b>		

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

Génotype	Rendement	Dose	Rendement
<b>V1</b>	<b>a = 31,02</b>	<b>D0</b>	<b>c = 20,67</b>
<b>V2</b>	<b>b = 27,36</b>	<b>D1</b>	<b>bc = 27,23</b>
<b>V3</b>	<b>a = 30,42</b>	<b>D2</b>	<b>ab = 30,31</b>
		<b>D3</b>	<b>ab = 29,53</b>
		<b>D4</b>	<b>ab = 34,43</b>
		<b>D5</b>	<b>a = 36,46</b>
		<b>D6</b>	<b>ab = 30,94</b>
<b>Moyen</b>	<b>29.93</b>	<b>Moyen</b>	<b>29.93</b>
<b>Min</b>	<b>27.36</b>	<b>Min</b>	<b>20.67</b>
<b>Max</b>	<b>31.42</b>	<b>Max</b>	<b>36.46</b>
<b>LSD (0.05)</b>	<b>2.36</b>	<b>LSD (0.05)</b>	<b>7.46</b>

2) Poids de mille grains :

Source de variation	DDL	SCE	CM	F	P
Blocs	2	13.18	6.59	0.79	0.47
Dose	6	153.97	25.66	3.08	0.04*
Génotype	2	606.50	303.25	18.90	0.00***
Dose*Génotype	12	264.60	22.05	1.37	0.23
Erreur	28	449.05	16.03		
total	62	1587.25	25.60		

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

Génotype	PMG	Dose	PMG
V1	a = 49,44	D0	a = 48,05
V2	b = 43,03	D1	ab = 45,97
V3	b = 42,7	D2	abc = 45,29
		D3	bc = 44,48
		D4	bc = 45,04
		D5	c = 42,74
		D6	bc = 43,83
moyen	45.05	moyen	45.05
min	42.70	min	42.74
max	49.44	max	48.05
LSD (0.05)	2.53	LSD(0.05)	2.96

### 3) Poids Spécifique :

Source de variation	DDL	SCE	CM	F	P
Blocs	2	2.17	1.08	1.49	0.26
Dose	6	72.41	12.06	16.6	0.000***
Génotype	2	13.76	6.88	12.01	0.0002***
Dose*Génotype	12	5.42	0.45	0.78	0.65
Erreur	28	16.03	0.57		
total	62	118.53	1.91		

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

Génotype	PS	Dose	PS
V1	b = 81,98	D0	a = 84,01
V2	a = 82,9	D1	a = 83,56
V3	b = 81,86	D2	b = 82,3
		D3	bc = 81,87
		D4	bc = 81,87
		D5	cd = 81,32
		D6	d = 80,81
moyen	82.24	moyen	82.24
min	81.86	min	80.81
max	82.90	max	84.01
LSD (0.05)	0.47	LSD (0.05)	0.87

4) Moucheture :

Source de variation	DDL	SCE	CM	F	P
Blocs	2	0.13	0.06	0.73	0.50
Dose	6	0.37	0.06	0.66	0.67ns
Génotype	2	0.13	0.06	1.14	0.33ns
Dose*Génotype	12	0.48	0.04	0.70	0.73
Erreur	28	1.59	0.05		
total	62	3.86	0.06		

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

Génotype	Moucheture	Dose	Moucheture
V1	a = 0,14	D0	a = 0,18
V2	a = 0,24	D1	a = 0,27
V3	a = 0,14	D2	a = 0,3
		D3	a = 0,1
		D4	a = 0,12
		D5	a = 0,095
		D6	a = 0,015
moyen	0.17	moyen	0.17
min	0.142	min	0.09
max	0.24	max	0.30
LSD (0.05)	0.15	LSD (0.05)	0.31

5) Mitadinage :

Source de variation	DDL	SCE	CM	F	P
Blocs	2	17.39	8.69	1.82	0.20
Dose	6	1940.52	323.42	67.94	0.00***
Génotype	2	12.69	6.34	6.31	0.00**
Dose*Génotype	12	87.13	7.26	7.22	0.00***
Erreur	28	28.14	1.00		
total	62	2143.00	34.56		

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

Génotype	Mitadinage	Dose	Mitadinage
V1	b = 1,98	D0	a = 16,13
V2	a = 2,77	D1	b = 1,55
V3	a = 3,03	D2	b = 0,31
		D3	b = 0,073
		D4	b = 0,01
		D5	b = 0,04
		D6	b = 0,06
moyen	2.59	moyen	2.59
min	1.98	min	0.01
max	3.03	max	16.13
LSD (0.05)	0.63	LSD (0.05)	2.24

6) Cendre grains :

Source de variation	DDL	SCE	CM	F	P
Blocs	2	0.00	0.00	0.63	0.54
Dose	6	0.95	0.15	31.77	0.00***
Génotype	2	0.13	0.06	5.98	0.00**
Dose*Génotype	12	0.87	0.07	6.32	0.00***
Erreur	28	0.32	0.01		
total	62	2.36	0.03		

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

Génotype	Cen grains	Dose	Cen grains
V1	b = 1,71	D0	a = 2
V2	a = 1,81	D1	b = 1,84
V3	a = 1,8	D2	b = 1,86
		D3	c = 1,71
		D4	cd = 1,66
		D5	cd = 1,69
		D6	d = 1,64
moyen	1.77	moyen	1.77
min	1.71	min	1.64
max	1.81	max	2.00
LSD (0.05)	0.06	LSD (0.05)	0.07

7) Cendre semoule :

Source de variation	DDL	SCE	CM	F	P
Blocs	2	0.00	0.00	1.36	0.29
Dose	6	0.06	0.01	9.00	0.00***
Génotype	2	0.03	0.01	8.66	0.00**
Dose*Génotype	12	0.03	0.00	1.45	0.19
Erreur	28	0.05	0.00		
total	62	0.21	3.38		

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

Génotype	Cen semoule	Dose	Cen semoule
V1	b = 0,81	D0	ab = 0,83
V2	a = 0,85	D1	c = 0,77
V3	b = 0,79	D2	ab = 0,83
		D3	a = 0,86
		D4	ab = 0,84
		D5	b = 0,82
		D6	c = 0,77
moyen	0.81	moyen	0.81
min	0.79	min	0.774
max	0.85	max	0.86
LSD (0.05)	0.02	LSD (0.05)	0.03

**8) Protéines grains :**

Source de variation	DDL	SCE	CM	F	P
<b>Blocs</b>	<b>2</b>	<b>2.18</b>	<b>1.09</b>	<b>1.92</b>	<b>0.18</b>
<b>Dose</b>	<b>6</b>	<b>245.36</b>	<b>40.89</b>	<b>72.27</b>	<b>0.00***</b>
<b>Génotype</b>	<b>2</b>	<b>1.57</b>	<b>0.78</b>	<b>4.02</b>	<b>0.02*</b>
<b>Dose*Génotype</b>	<b>12</b>	<b>4.68</b>	<b>0.39</b>	<b>1.99</b>	<b>0.06</b>
<b>Erreur</b>	<b>28</b>	<b>5.48</b>	<b>0.19</b>		
<b>total</b>	<b>62</b>	<b>266.08</b>	<b>4.29</b>		

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

Génotype	Pro grains	Dose	Pro grains
<b>V1</b>	<b>a = 15,65</b>	<b>D0</b>	<b>e = 11,48</b>
<b>V2</b>	<b>a = 15,64</b>	<b>D1</b>	<b>d = 13,66</b>
<b>V3</b>	<b>b = 15,31</b>	<b>D2</b>	<b>c = 15,74</b>
		<b>D3</b>	<b>bc = 16,5</b>
		<b>D4</b>	<b>ab = 16,83</b>
		<b>D5</b>	<b>ab = 17,14</b>
		<b>D6</b>	<b>a = 17,27</b>
<b>moyen</b>	<b>15.53</b>	<b>moyen</b>	<b>15.53</b>
<b>min</b>	<b>15.31</b>	<b>min</b>	<b>11.6</b>
<b>max</b>	<b>15.65</b>	<b>max</b>	<b>17.27</b>
<b>LSD (0.05)</b>	<b>0.27</b>	<b>LSD (0.05)</b>	<b>0.77</b>

**9) Protéines semoule :**

Source de variation	DDL	SCE	CM	F	P
<b>Blocs</b>	<b>2</b>	<b>2.48</b>	<b>1.24</b>	<b>2.21</b>	<b>0.15</b>
<b>Dose</b>	<b>6</b>	<b>219.21</b>	<b>36.53</b>	<b>65.26</b>	<b>0.00***</b>
<b>Génotype</b>	<b>2</b>	<b>0.19</b>	<b>0.09</b>	<b>0.17</b>	<b>0.84</b>
<b>Dose*Génotype</b>	<b>12</b>	<b>3.19</b>	<b>0.26</b>	<b>0.45</b>	<b>0.92</b>
<b>Erreur</b>	<b>28</b>	<b>16.36</b>	<b>0.58</b>		
<b>total</b>	<b>62</b>	<b>248.18</b>	<b>4.00</b>		

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

Génotype	Pro semoule	Dose	Pro semoule
<b>V1</b>	<b>a = 14,03</b>	<b>D0</b>	<b>e = 10,27</b>
<b>V2</b>	<b>a = 14,15</b>	<b>D1</b>	<b>d = 12,46</b>
<b>V3</b>	<b>a = 14,02</b>	<b>D2</b>	<b>c = 14,24</b>
		<b>D3</b>	<b>ab = 15,08</b>
		<b>D4</b>	<b>bc = 14,96</b>
		<b>D5</b>	<b>ab = 15,72</b>
		<b>D6</b>	<b>a = 15,74</b>
<b>moyen</b>	<b>14.06</b>	<b>moyen</b>	<b>14.06</b>
<b>min</b>	<b>14.02</b>	<b>min</b>	<b>10.27</b>
<b>max</b>	<b>14.15</b>	<b>max</b>	<b>15.74</b>
<b>LSD (0.05)</b>	<b>0.48</b>	<b>LSD (0.05)</b>	<b>0.76</b>

**10) Taux d'extraction :**

Source de variation	DDL	SCE	CM	F	P
<b>Blocs</b>	<b>2</b>	<b>45.90</b>	<b>22.95</b>	<b>2.80</b>	<b>0.10</b>
<b>Dose</b>	<b>6</b>	<b>77.55</b>	<b>12.95</b>	<b>1.57</b>	<b>0.23ns</b>
<b>Génotype</b>	<b>2</b>	<b>256.32</b>	<b>128.16</b>	<b>10.67</b>	<b>0.00***</b>
<b>Dose*Génotype</b>	<b>12</b>	<b>254.96</b>	<b>21.24</b>	<b>1.77</b>	<b>0.10</b>
<b>Erreur</b>	<b>28</b>	<b>335.85</b>	<b>11.99</b>		
<b>total</b>	<b>62</b>	<b>1068.78</b>	<b>17.23</b>		

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

Génotype	T E	Dose	T E
<b>V1</b>	<b>b = 52,2</b>	<b>D0</b>	<b>a = 57,2</b>
<b>V2</b>	<b>a = 56,54</b>	<b>D1</b>	<b>ab = 54,9</b>
<b>V3</b>	<b>a = 56,51</b>	<b>D2</b>	<b>b = 53,65</b>
		<b>D3</b>	<b>b = 53,7</b>
		<b>D4</b>	<b>ab = 55,36</b>
		<b>D5</b>	<b>ab = 54,95</b>
		<b>D6</b>	<b>ab = 55,46</b>
<b>moyen</b>	<b>55.05</b>	<b>moyen</b>	<b>55.05</b>
<b>min</b>	<b>52.20</b>	<b>min</b>	<b>53.65</b>
<b>max</b>	<b>56.54</b>	<b>max</b>	<b>57.2</b>
<b>LSD (0.05)</b>	<b>2.18</b>	<b>LSD (0.05)</b>	<b>2.93</b>

11) SDS :

Source de variation	DDL	SCE	CM	F	P
Blocs	2	11.81	5.90	0.87	0.44
Dose	6	237.94	39.65	5.89	0.00**
Génotype	2	489.48	244.74	47.73	0.00***
Dose*Génotype	12	49.79	4.14	0.80	0.63
Erreur	28	143.55	5.12		
total	62	1013.38	16.34		

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

Génotype	SDS	Dose	SDS
V1	b = 29,71	D0	c = 25,94
V2	c = 25,66	D1	bc = 27,11
V3	a = 32,45	D2	ab = 28,66
		D3	a = 30
		D4	a = 30,88
		D5	a = 31,22
		D6	a = 31,11
moyen	29.27	moyen	29.27
min	25.66	min	25.94
max	32.45	max	31.22
LSD (0.05)	1.43	LSD (0.05)	2.66

**12) Indice de jaune :**

Source de variation	DDL	SCE	CM	F	P
<b>Blocs</b>	<b>2</b>	<b>2.39</b>	<b>1.19</b>	<b>0.39</b>	<b>0.68</b>
<b>Dose</b>	<b>6</b>	<b>31.77</b>	<b>5.29</b>	<b>1.74</b>	<b>0.19</b>
<b>Génotype</b>	<b>2</b>	<b>57.07</b>	<b>28.53</b>	<b>7.90</b>	<b>0.00**</b>
<b>Dose*Génotype</b>	<b>12</b>	<b>45.99</b>	<b>3.83</b>	<b>1.06</b>	<b>0.42</b>
<b>Erreur</b>	<b>28</b>	<b>101.12</b>	<b>3.61</b>		
<b>total</b>	<b>62</b>	<b>274.79</b>	<b>4.43</b>		

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

Génotype	I J	Dose	I J
<b>V1</b>	<b>b = 19,57</b>	<b>D0</b>	<b>b = 19,7</b>
<b>V2</b>	<b>a = 21,85</b>	<b>D1</b>	<b>ab = 21,18</b>
<b>V3</b>	<b>a = 21,15</b>	<b>D2</b>	<b>ab = 20,96</b>
		<b>D3</b>	<b>ab = 20,85</b>
		<b>D4</b>	<b>b = 20,01</b>
		<b>D5</b>	<b>a = 21,85</b>
		<b>D6</b>	<b>ab = 21,46</b>
<b>moyen</b>	<b>20.85</b>	<b>moyen</b>	<b>17.79</b>
<b>min</b>	<b>19.57</b>	<b>min</b>	<b>19.70</b>
<b>max</b>	<b>21.85</b>	<b>max</b>	<b>21.85</b>
<b>LSD (0.05)</b>	<b>1.20</b>	<b>LSD (0.05)</b>	<b>1.78</b>

**13) Gluten humide :**

Source de variation	DDL	SCE	CM	F	P
<b>Blocs</b>	<b>2</b>	<b>14.11</b>	<b>7.05</b>	<b>0.25</b>	<b>0.77</b>
<b>Dose</b>	<b>6</b>	<b>3594.66</b>	<b>599.11</b>	<b>22.04</b>	<b>0.00***</b>
<b>Génotype</b>	<b>2</b>	<b>366.85</b>	<b>183.42</b>	<b>10.06</b>	<b>0.00***</b>
<b>Dose*Génotype</b>	<b>12</b>	<b>219.57</b>	<b>18.29</b>	<b>1.00</b>	<b>0.47</b>
<b>Erreur</b>	<b>28</b>	<b>510.43</b>	<b>18.22</b>		
<b>total</b>	<b>62</b>	<b>5031.81</b>	<b>81.15</b>		

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

Génotype	G H	Dose	G H
<b>V1</b>	<b>a = 43,97</b>	<b>D0</b>	<b>d = 26,77</b>
<b>V2</b>	<b>a = 43,31</b>	<b>D1</b>	<b>c = 35,77</b>
<b>V3</b>	<b>b = 38,55</b>	<b>D2</b>	<b>b = 41,71</b>
		<b>D3</b>	<b>ab = 45,67</b>
		<b>D4</b>	<b>ab = 45,21</b>
		<b>D5</b>	<b>a = 49,35</b>
		<b>D6</b>	<b>a = 49,13</b>
<b>moyen</b>	<b>41.94</b>	<b>moyen</b>	<b>41.94</b>
<b>min</b>	<b>38.55</b>	<b>min</b>	<b>26.77</b>
<b>max</b>	<b>43.97</b>	<b>max</b>	<b>49.35</b>
<b>LSD (0.05)</b>	<b>2.69</b>	<b>LSD (0.05)</b>	<b>5.35</b>

**14) Gluten sec :**

Source de variation	DDL	SCE	CM	F	P
<b>Blocs</b>	<b>2</b>	<b>6.48</b>	<b>3.24</b>	<b>1.90</b>	<b>0.19</b>
<b>Dose</b>	<b>6</b>	<b>209.27</b>	<b>34.87</b>	<b>20.48</b>	<b>0.00***</b>
<b>Génotype</b>	<b>2</b>	<b>21.39</b>	<b>10.69</b>	<b>7.74</b>	<b>0.00**</b>
<b>Dose*Génotype</b>	<b>12</b>	<b>16.18</b>	<b>1.34</b>	<b>0.97</b>	<b>0.49</b>
<b>Erreur</b>	<b>28</b>	<b>38.69</b>	<b>1.38</b>		
<b>total</b>	<b>62</b>	<b>312.47</b>	<b>5.03</b>		

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

Génotype	G S	Dose	GS
<b>V1</b>	<b>a = 13,2</b>	<b>D0</b>	<b>d = 9,55</b>
<b>V2</b>	<b>a = 13,79</b>	<b>D1</b>	<b>c = 11,37</b>
<b>V3</b>	<b>b = 12,37</b>	<b>D2</b>	<b>b = 13,14</b>
		<b>D3</b>	<b>ab = 14,06</b>
		<b>D4</b>	<b>ab = 14,26</b>
		<b>D5</b>	<b>a = 14,96</b>
		<b>D6</b>	<b>a = 14,49</b>
<b>moyen</b>	<b>13.12</b>	<b>moyen</b>	<b>13.11</b>
<b>min</b>	<b>12.37</b>	<b>min</b>	<b>9.55</b>
<b>max</b>	<b>13.79</b>	<b>max</b>	<b>14.96</b>
<b>LSD (0.05)</b>	<b>0.74</b>	<b>LSD (0.05)</b>	<b>1.34</b>

**15) Taux d'hydratation :**

Source de variation	DDL	SCE	CM	F	P
<b>Blocs</b>	<b>2</b>	<b>31.43</b>	<b>15.71</b>	<b>0.42</b>	<b>0.66</b>
<b>Dose</b>	<b>6</b>	<b>269.97</b>	<b>44.99</b>	<b>1.22</b>	<b>0.35ns</b>
<b>Génotype</b>	<b>2</b>	<b>77.43</b>	<b>38.71</b>	<b>1.53</b>	<b>0.23ns</b>
<b>Dose*Génotype</b>	<b>12</b>	<b>323.80</b>	<b>26.98</b>	<b>1.006</b>	<b>0.41</b>
<b>Erreur</b>	<b>28</b>	<b>706.42</b>	<b>25.22</b>		
<b>total</b>	<b>62</b>	<b>1849.48</b>	<b>29.82</b>		

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

Génotype	Taux d'hyd	Dose	Taux d'hyd
<b>V1</b>	<b>a = 69,63</b>	<b>D0</b>	<b>b = 63,51</b>
<b>V2</b>	<b>a = 67,18</b>	<b>D1</b>	<b>ab = 67,99</b>
<b>V3</b>	<b>a = 67,39</b>	<b>D2</b>	<b>ab = 68,37</b>
		<b>D3</b>	<b>ab = 69,08</b>
		<b>D4</b>	<b>ab = 67,99</b>
		<b>D5</b>	<b>ab = 69,63</b>
		<b>D6</b>	<b>a = 70,38</b>
<b>moyen</b>	<b>68.06</b>	<b>moyen</b>	<b>68.06</b>
<b>min</b>	<b>67.18</b>	<b>min</b>	<b>63.51</b>
<b>max</b>	<b>69.63</b>	<b>max</b>	<b>70.38</b>
<b>LSD (0.05)</b>	<b>3.17</b>	<b>LSD (0.05)</b>	<b>6.22</b>

### 16) Hauteur du pic

Source de variation	DDL	SCE	CM	F	P
<b>Blocs</b>	<b>2</b>	<b>193.23</b>	<b>96.61</b>	<b>7.25</b>	<b>0.00</b>
<b>Dose</b>	<b>6</b>	<b>1261.65</b>	<b>210.27</b>	<b>15.78</b>	<b>0.00***</b>
<b>Génotype</b>	<b>2</b>	<b>37.80</b>	<b>18.90</b>	<b>2.00</b>	<b>0.15</b>
<b>Dose*Génotype</b>	<b>12</b>	<b>236.63</b>	<b>19.71</b>	<b>2.08</b>	<b>0.05</b>
<b>Erreur</b>	<b>28</b>	<b>264.22</b>	<b>9.43</b>		
<b>total</b>	<b>62</b>	<b>21153.42</b>			

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

Génotype	Hauteur Pic	Dose	Hauteur Pic
<b>V1</b>	<b>a = 60,09</b>	<b>D0</b>	<b>d = 50,11</b>
<b>V2</b>	<b>a = 58,47</b>	<b>D1</b>	<b>c = 56,55</b>
<b>V3</b>	<b>a = 60,14</b>	<b>D2</b>	<b>bc = 59,55</b>
		<b>D3</b>	<b>ab = 61,33</b>
		<b>D4</b>	<b>ab = 63,22</b>
		<b>D5</b>	<b>a = 63,33</b>
		<b>D6</b>	<b>ab = 62,88</b>
<b>moyen</b>	<b>59.56</b>	<b>moyen</b>	<b>59.56</b>
<b>min</b>	<b>58.47</b>	<b>min</b>	<b>50.11</b>
<b>max</b>	<b>60.14</b>	<b>max</b>	<b>63.33</b>
<b>LSD (0.05)</b>	<b>1.94</b>	<b>LSD (0.05)</b>	<b>3.74</b>

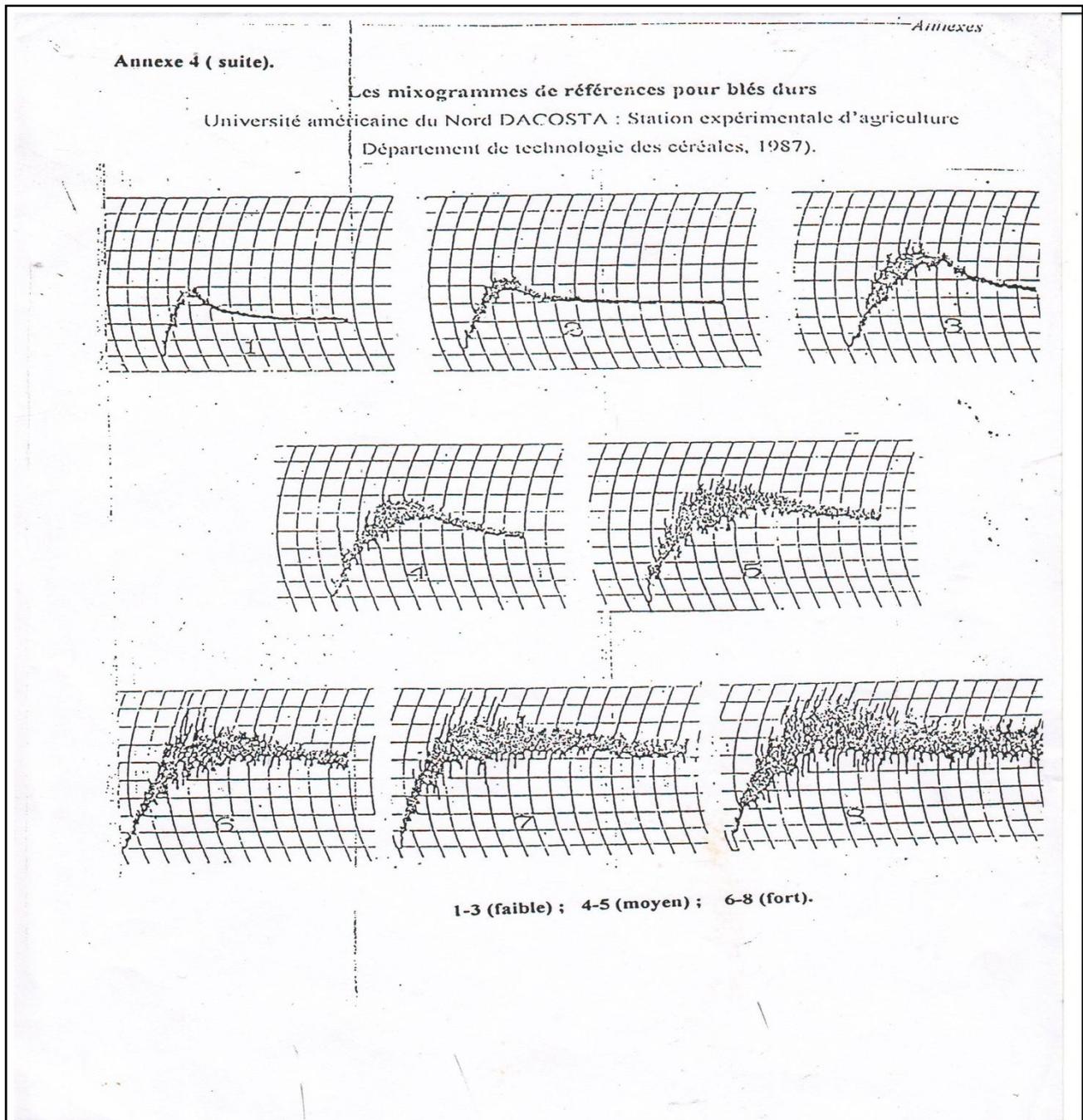
**17) Temps de pétrissage :**

Source de variation	DDL	SCE	CM	F	P
<b>Blocs</b>	<b>2</b>	<b>0.08</b>	<b>0.04</b>	<b>0.76</b>	<b>0.48</b>
<b>Dose</b>	<b>6</b>	<b>1.35</b>	<b>0.22</b>	<b>4.05</b>	<b>0.01**</b>
<b>Génotype</b>	<b>2</b>	<b>0.65</b>	<b>0.32</b>	<b>9.89</b>	<b>0.00***</b>
<b>Dose*Génotype</b>	<b>12</b>	<b>2.34</b>	<b>0.19</b>	<b>5.87</b>	<b>0.00***</b>
<b>Erreur</b>	<b>28</b>	<b>0.93</b>	<b>0.03</b>		
<b>total</b>	<b>62</b>	<b>6.04</b>	<b>0.09</b>		

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

Génotype	Temps Pé	Dose	Temps pé
<b>V1</b>	<b>b = 1,96</b>	<b>D0</b>	<b>ad = 1,8</b>
<b>V2</b>	<b>b = 1,97</b>	<b>D1</b>	<b>a = 2,26</b>
<b>V3</b>	<b>a = 2,18</b>	<b>D2</b>	<b>abc = 2,12</b>
		<b>D3</b>	<b>abc = 2,05</b>
		<b>D4</b>	<b>bcd = 1,94</b>
		<b>D5</b>	<b>ab = 2,17</b>
		<b>D6</b>	<b>cd = 1,92</b>
<b>moyen</b>	<b>2.03</b>	<b>moyen</b>	<b>2.03</b>
<b>min</b>	<b>1.96</b>	<b>min</b>	<b>1.80</b>
<b>max</b>	<b>2.18</b>	<b>max</b>	<b>2.26</b>
<b>LSD (0.05)</b>	<b>0.11</b>	<b>LSD (0.05)</b>	<b>0.24</b>

**Annexe 3** : les mixogrammes de références pour les blés durs



**Annexe 4:** classification des blés selon les normes de Williams et al (1988)

Normes de poids de 1000 grains (blé dur): PMG (WILLIAMS et al., 1988).

84+	Extra large
80 - 84	Très large
76 - 80	Large
72 - 76	Moyen
68 - 72	Petit
64 - 68	Très petit
60 - 64	Extrat petit
56 - 60	Extrat petit
52 - 56	Extrat petit
48 - 52	Extrat petit
< 48	Extrat petit

Normes des protéines tous céréales (WILLIAMS et al., 1988)

Protéines	Classification
< 9% MS	Très faible
9 - 11,5	Faible
11,6 - 13,5	Moyen
13,6 - 15,5	Elevé
15,6 - 17,5	Très élevé
> 17	Extra élevé

Normes SDS (WILLIAMS et al., 1988)

SDS (ml)	Potentiel boulanger
> 80	Exceptionnel fort
70 - 79	Très fort
60 - 69	Fort
50 - 59	Force moyenne
40 - 49	Proche faible
30 - 39	Faible
20 - 29	Très faible
< 20	Exceptionnel faible

Normes mixographes (WILLIAMS et al., 1988)

Temps de développement	Hauteur de la courbe	Tolérance	Force
4,5 - 6	70 +	0 - 5	Très fort
3,4 - 4,4	60 - 69	5 - 10	Fort
2,5 - 3,3	50 - 59	10 - 25	Moyen
1,5 - 2,4	40 - 49	25 - 40	Faible
0 - 1,4	< 40	> 40	Très faible

**Annexe 5 :** la quantité d'eau à ajouté en fonction du taux des protéines pour le Mixographe

<b>Teneur en protéine%</b>	<b>Quantité d'eau à ajouter (ml)</b>	<b>Teneur en protéine%</b>	<b>Quantité d'eau à ajouter (ml)</b>
16	6.60	11.7	6.17
15.5	6.55	11.6	6.16
15	6.50	11.5	6.15
14.5	6.45	11.4	6.14
14	6.40	11.3	6.13
13.5	6.35	11.2	6.12
13	6.30	11.1	6.11
12.9	6.29	11	6.10
12.8	6.28	10.9	6.09
12.7	6.27	10.8	6.08
12.6	6.26	10.7	6.07
12.5	6.25	10.6	6.06
12.4	6.24	10.5	6.05
12.3	6.23	10.4	6.04
12.2	6.22	10.3	6.03
12.1	6.21	10.2	6.02
12	6.2	10.1	6.01
11.9	6.19	10	6
11.8	6.18		

