

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
REPUBLIC ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE
SCIENTIFIQUE
المدرسة الوطنية العليا للفلاحة الحراش - الجزائر -
ECOLE NATIONALE SUPERIEURE AGRONOMIQUE EL-HARRACH -ALGER

Mémoire

En vue de l'obtention du diplôme de Magister en Sciences Agronomiques

Département : Technologie alimentaire

Option : Alimentation et Nutrition

THEME

**Caractérisation physico-chimique, biochimique et
technologique de quelques variétés de blé dur algérien
destinées à la panification.**

Présenté par : KEDDAR Mohamed Nadir

Soutenu le : 24/06/2014

Jury:

Président: M. MEKIMENE L. (maître de conférences classe A, ENSA)

Promoteur: Mme. OUNANE G. (professeur, ENSA)

Examineurs: M. FERHAT Z. (professeur, ENSA)

M. YESLI A. (maitre assistant classe A, UMM Tizi Ouzou)

Année universitaires : 2013-2014

REMERCIEMENTS

*Tout d'abord je remercie **ALLAH** le tout puissant, le clément de m'avoir donné le courage, la patience et la force pour effectuer ce modeste travail.*

*Au terme de mon travail, il m'est agréable d'exprimer ma profonde gratitude à ma promotrice Madame **OUNANEG.**, professeur à l'Ecole Nationale Supérieure Agronomique, pour sa disponibilité tout au long de la réalisation de ce mémoire, ainsi pour l'inspiration, l'aide et le temps qu'elle a bien voulu me consacrer et sans qui ce mémoire n'aurait jamais vu le jour.*

*Je tiens à remercier Monsieur **MEKIMENEL.**, maitre de conférences classe A à l'Ecole Nationale Supérieure Agronomique, de m'avoir fait l'honneur d'accepter de présider mon jury.*

*Mes remerciements s'adressent également à Madame **FERHAT Z.**, maitre de conférences classe A à l'Ecole Nationale Supérieure Agronomique, à Monsieur **YESLI A.**, maitre assistant classe A à l'université Mouloud Mammeri de Tizi Ouzou qui ont bien voulu faire partie de mon jury.*

*Je remercie également le personnel du laboratoire de technologie alimentaire de l'ENSA : **FATMA ZOHRA, KHADIDJA, MOHAMED, EL-ARBI**, et le personnel du laboratoire de technologie des céréales de l'OAIC de Cheraga surtout **M^{lle}YETTOU Nadia** pour son aide précieuse, sa confiance et ses conseils.*

Enfin je remercie tous ceux ou celles qui m'ont aidés de près ou de loin à réaliser ce modeste travail.

DEDICACES

Je dédie ce mémoire :

A mes parents

Pour votre amour, votre soutien, votre patience et vos sacrifices tout au long de ma vie et de mon parcours. Que ce travail soit, pour vous, un témoignage de ma vive reconnaissance et ma profonde affection. Que Dieu le tout puissant vous donne santé, bonheur et vous protège de tout mal.

A mes chers frères et sœurs et à toute ma famille

Mes amis

Khaled, Said, Yaya, Chouchou, Doudou, Fifi, Jiji, Djamila, Yass, Issma, Hamza, avec qui j'ai passé des moments inoubliables.

A mes collègues de travail

Lyes, Sofiane, Ben Ali, El Hadj, Said, Meriem, Djaouida, Hidaya, Samiha

Meriem et Soumia

*A tous ceux qui ont su m'apporter aide et soutient aux moments propices,
merci à vous tous.*

A tous ceux que j'aime

Je dédie ce mémoire

RESUME

Le but de ce présent travail est la détermination de certaines caractéristiques technologiques de 9 semoules de blé dur, la quantification des différentes fractions protéiques et la recherche d'éventuelles relations entre les teneurs en ces fractions et quelques aspects de la qualité boulangère.

La séparation des protéines a été réalisée suivant la méthode de **WEISER** *et al.*, (1998) alors que le dosage a été conduit par turbidimétrie selon le protocole de **CHOI** *et al.*, (1993). Le dosage de l'amidon endommagé a été effectué par la méthode enzymatique (Megazyme).

L'appréciation de la qualité boulangère de nos génotypes par les tests technologiques est similaire d'un test à un autre. Le test sédimentation SDS a montré que la majorité des semoules sont de faible à très faible force boulangère, le test de gluten les classes comme étant des blés de faible force boulangère, alors que les paramètres de mixographe les associent aux classes des blés de force boulangère faible à moyenne.

Les semoules de blé dur présentent des taux d'amidon endommagé compris dans la fourchette tolérée, et des caractéristiques alvéographiques tolérables à médiocres.

A partir de l'étude statistique effectuée entre les différents tests, des corrélations intéressantes ont été trouvées entre les fractions protéiques notamment les protéines insolubles et la force boulangère.

Mots clés: Blé dur, semoule, valeur technologique, fraction protéique, protéines, amidon, force boulangère.

ABSTRACT

The purpose from the present work is the determination of certain technological characteristics of 9 durum's wheat semolina, the quantification of different protein fractions and the looking for possible relationships between these fractions content and some aspects of the baking quality.

The separation of proteins was achieved following the method of **WEISER** *et al.*, (1998) while the dosage was conducted by turbidimetry according to the protocol of **CHOI** *et al.*, (1993). The dosage of starch damage was carried out by the enzymatic method (Megazyme).

The assessment of the baking quality of our genotypes by technological tests is similar from one test to the other. The SDS sedimentation test showed that the majority of the meals are of weak to very weak baking strength, the test of gluten classes them as being wheats of weak baking strength, while the mixograph parameters associate them to classes of medium to weak baking strength wheats.

The semolinas of durum wheat show low rates of starch damage including in the tolerated range, and tolerable to poor alveographic characteristics.

From the statistical study carried out between the various tests, interesting correlations were found between the protein fractions, particularly the insoluble proteins and the baking strength.

Keywords: durum wheat, semolina, technological value, protein fraction, proteins, starch, baking strength.

ملخص

الهدف من وراء هذا العمل هي تحديد بعض الخاصيات التكنولوجية ل 09 أنواع من القمح الصلب, التقسيم الكمي لمختلف البروتينات و إيجاد العلاقات الممكنة بين كميات هذه الأجزاء البروتينية و بعض جوانب نوعية الخبز.

و في هذا الصدد تم القيام بعملية فصل البروتينات وفقا لطريقة وبيزر (RESIEW) و آخرون (1998) وإجراء فحص القياس بطريقة تربيدمترية حسب برتوكول شوا (IOHC) و آخرون (1993) و قد تم تحديد تركيز النشاء التالف من خلال الطريقة الإنزيمية (EMYZAGEM).

تقدير نوعية الخبز للعينات باستعمال التجارب التكنولوجية متشابهة من تجربة إلى أخرى. تجربة الترسيب SDS بينت أن أغلبية العينات لها قوة خبز ضعيفة إلى جد ضعيفة, تجربة الغلوتين رتبها على أنها قمح بقوة خبز ضعيفة بينما مقاييس الميكسوغراف يجمعها في صنف القمح ذو قوة خبز متوسطة إلى ضعيفة. بالنسبة لتجربة درجة تلف النشاء وكذلك الخصائص الالفيوغرافية أظهرت العينات نتائج مقبولة إلى دون الوسط .

من خلال الدراسة الإحصائية التي أجريت بين مختلف التجارب تم إيجاد علاقة مهمة بين الأجزاء البروتينية خاصة البروتينات الغير القابلة للذوبان و قوة الخبز.

الكلمات الدالة: الأجزاء البروتينية, البروتينات, القمح الصلب, السميد, قوة الخبز, القيمة التكنولوجية, النشاء

SOMMAIRE

INTRODUCTION.....	1
-------------------	---

Chapitre I : ETUDE BIBLIOGRAPHIQUE

I. QUELQUES GENERALITES SUR LE BLE DUR	3
1.1 Aspect botanique.....	3
1.2 Composition histologique et chimique	3
1.3 Mouture de blé dur	4
II. QUALITE TECHNOLOGIQUE DES BLES DURS	5
2.1 Valeur semoulière.....	5
2.2 Valeur pastière.....	6
III. SEMOULE DE BLE DUR	7
3.1 Définition	7
3.2 Classification	7
3.3 Propriétés physico-chimiques.....	9
3.3.1 Composition biochimique.....	9
3.3.2 Propriétés physiques.....	10
3.3.2.1 L'odeur.....	10
3.3.2.2 La granulométrie.....	11
3.3.2.3 Coloration.....	11
3.3.2.4 Les propriétés plastiques.....	12
3.3.2.5 L'élasticité.....	12
IV. TESTS D'APPRECIATION DE LA QUALITE TECHNOLOGIQUE	12
4.1 Méthodes directes d'appréciation de la valeur boulangère	12
4.2 Tests indirects	13
4.3 Critères de sélection de blé dur pour une bonne qualité boulangère	19

SOMMAIRE

V. LES PROTEINES DU BLE.....	19
5.1 Classification des protéines de blé.....	20
5.1.1 Les protéines solubles.....	21
5.1.2 Les protéines de réserves.....	22
5.1.2.1 Les gliadines.....	23
5.1.2.2 Les gluténines.....	24
5.2 Rôle des protéines dans l'expression de la qualité boulangère.....	25
5.2.1 Rôle des albumines globulines.....	26
5.2.2 Rôle des protéines de gluten.....	27
5.2.2.1 Rôle des gliadines.....	29
5.2.2.2 Rôle des gluténines.....	29
5.3 Interactions entre les différentes fractions protéiques.....	31
VI. FRACTIONNEMENT DES PROTEINES DE LA SEMOULE BLE DUR.....	32

Chapitre II: MATERIELS ET METHODES ANALYTIQUES

I. MATERIEL VEGETAL.....	35
II. PARAMETRES PHYSIQUES DES GRAINS.....	35
2.1 Poids de milles grains.....	35
2.2 Vitrosité et taux de mitadinage.....	35
2.3 Taux de moucheture.....	35
III. METHODES ANALYTIQUES.....	36
3.1 Préparation des blés.....	36
3.2 Mouture des blés.....	36
3.3 Coloration de la semoule.....	37
3.4 Analyse granulométrique ou taux d'affleurement.....	38

SOMMAIRE

IV. ANALYSES INDIRECTES D'APPRECIATION DE LA VALEURBOULANGERE...	39
4.1 Tests technologiques	39
4.1.1 Test de sédimentation SDS	39
4.1.2 Détermination de la teneur en gluten sec, gluten humide et la capacité d'hydratation du blé dur	41
4.1.3 Essai au mixographe	42
4.1.4 Essai à l'alvéographe CHOPIN	45
V. ANALYSES BIOCHIMIQUES	48
5.1 La teneur en eau	48
5.2 La teneur en cendres ou matières minérales	49
5.3 Teneur en protéines totales	49
5.4 Séparation séquentielle et dosage des différentes fractions protéiques sur semoule	49
5.5 Teneur en amidon total et en amidon endommagé	52
VI. ANALYSES STATISTIQUE.....	52

Chapitre III: RESULTATS ET DISCUSSIONS

I. ANALYSES PHYSICOCIMIQUES	53
1.1 Paramètres physiques des grains de blé dur.....	53
1.1.1 Poids de mille grains	53
1.1.2 Vitrosité.....	54
1.1.3 Degré de moucheture	55
1.2 Les humidités	56
1.2.1 Humidité des grains	57
1.2.2 Humidité des semoules	57
II. TESTS TECHNOLOGIQUES	58

SOMMAIRE

2.1 Taux d'extraction	60
2.2 Teneur en cendres	61
2.3 Indices de coloration	62
2.3.1 Indice de jaune	62
2.3.2 Indice de brun	63
2.4 Taux d'affleurement	64
2.5 Test de sédimentation en milieu SDS	66
2.6 Teneur en gluten	68
2.6.1 Gluten humide	69
2.6.2 Gluten sec ..	69
2.6.3 Capacité d'hydratation	71
2.7 Amidon endommagé et Amidon total	72
III. ANALYSES RHEOLOGIQUES	73
3.1 Essai au mixographe	73
3.2 Essai à l'alvéographe CHOPIN	75
IV. TESTS BIOCHIMIQUES	77
4.1 Teneur en protéines totales	77
4.2 Fractionnement protéique	79
4.2.1 Albumines-globulines	79
4.2.2 Gliadines ..	79
4.2.3 Gluténines solubles	80
4.2.4 Résidus protéique insoluble	80
4.2.5 Protéines solubles	80
4.2.6 Ratio Gliadines / Gluténines	81
V. CORRELATIONS ENTRE LES TESTS D'APPRECIATION DE LA QUALITE.....	82

SOMMAIRE

5.1 Corrélations entre les résultats des différents tests technologiques (coefficient de corrélation de PEARSON « r »)	82
5.2 Corrélations entre les résultats des différents tests technologiques et les teneurs en protéines des différentes fractions protéiques (Coefficient de corrélation de PEARSON « r »)..	90
CONCLUSION GENERALE	95
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES	99
ANNEXES	126

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1: Spécifications techniques des semoules de blé dur à consommer.....	8
Tableau 2 : Principaux types de semoules fabriquées en Algérie.....	9
Tableau 3 : Composition biochimique en g pour 100 g de semoule de blé dur.....	9
Tableau 4 : Composition en protéines de la farine.....	20
Tableau 5 : Quelques caractéristiques des gliadines.....	23
Tableau 6 : Quelques caractéristiques des différentes fractions protéiques des gluténines.....	25
Tableau 7 : Echelles de classement des composantes de coloration des semoules.....	38
Tableau 8 : Classement des blés en fonction des paramètres du mixogramme.....	45
Tableau 9 : Valeurs caractéristiques moyennes pour la panification du blé tendre.....	48
Tableau 10 : Caractéristiques physiques des blés durs.....	53
Tableau 11: Humidités des grains et des semoules de blé dur.....	56
Tableau 12 : Résultats des tests technologiques des semoules de blé dur.....	59
Tableau 13 : Teneurs en gluten sec, humide et capacité d'hydratation des semoules de blé dur.....	68
Tableau 14 : Classement hiérarchique des génotypes étudiés en fonction du temps de pétrissage de la pâte au mixographe.....	75
Tableau 15: Classement hiérarchique des génotypes étudiés en fonction de la force boulangère.....	77
Tableau 16: Classement hiérarchique des génotypes étudiés en fonction de leurs teneurs en protéines totales.....	78
Tableau 17: Teneur en différentes fractions protéiques des semoules de blé dur.....	79
Tableau 18 : Corrélations entre les différents tests d'appréciation de la qualité.....	83
Tableau 19 : Coefficients de corrélations entre les paramètres technologiques et les teneurs en protéines des différentes fractions protéiques.....	90
Tableau 20 : Dosage du BSA par TCA.....	134

LISTE DES FIGURES

Figure 1 : Coupe longitudinale d'un grain de blé.....	4
Figure 2 : Alvéogramme d'une pâte de blé et les paramètres de force calculés.....	17
Figure 3 : Alvéogrammes de deux pâtes à base de blé dur.....	18
Figure 4 : Classification des protéines du blé, comparaison des classifications.....	21
Figure 5 : Facteurs régissant la qualité boulangère et les propriétés rhéologiques de la pâte.....	28
Figure 6 : Moulin Brabender.....	37
Figure 7 : Planchister de laboratoire BHULER.....	39
Figure 8 : Schéma du test de sédimentation en milieu SDS.....	40
Figure 9 : Mixographe.....	42
Figure 10 : Mixogramme d'un génotype de blé dur algérien.....	44
Figure 11 : Courbes alvéographique d'un génotype de blé dur algérien.....	46
Figure 12 : Procédé de fractionnement séquentiel des protéines.....	51
Figure 13 : Poids de mille grains des variétés de blé dur.....	54
Figure 14 : Taux de vitrosité des variétés de blé dur.....	55
Figure 15 : Degré de moucheture des variétés de blé dur.....	56
Figure 16 : Humidité des grains de blé dur.....	57
Figure 17 : Humidités des semoules de blé dur.....	58
Figure 18 : Taux d'extraction des génotypes de blé dur.....	60
Figure 19 : Taux de cendres des semoules.....	61
Figure 20 : Indice de jaune des semoules de blé dur.....	62

LISTE DES FIGURES

Figure 21: Indice de brun des semoules de blé dur.....	64
Figure 22: Granulométrie médiane des semoules de blé dur.....	65
Figure 23: Variation géométrique des semoules de blé dur.....	66
Figure 24: Volume de sédimentation SDS des semoules de blé dur.....	67
Figure 25: Teneur en gluten humide des semoules de blé dur.....	69
Figure 26 : Teneur en gluten sec des semoules de blé dur.....	70
Figure 27: Capacité d'hydratation des semoules de blé dur.....	71
Figure 28: Teneur en amidon total et en amidon endommagé des semoules de blé dur....	73
Figure 29 : Ratio Gliadines / Gluténines des semoules de blé dur.....	81
Figure 30 : Courbe d'étalonnage de BSA.....	135

LISTE DES ABBREVIATIONS

AACC: American Association of Cereal Chemistry

AFNOR: Association Française de Normalisation

BBA : Bordj Bou Arreridj

BI : blé industriel

BIPEA : Bureau Interprofessionnel des Etudes Analytiques

BSA : bovine sérum albumine = albumine de sérum de boeuf.

CH: Capacité d'Hydratation

CIE : Commission Internationale d'Eclairage

CNERNA : Centre National d'Études et de recommandations sur la Nutrition et l'Alimentation

CNIS : Centre National de l'Informatique et des Statistiques

D50 : granulométrie médiane

D84 : granulométrie de dispersion

Da : dalton.

DTT: dithiothréitol.

Eriad : Entreprise régionale des industries alimentaires et dérivés

FAO: Food and Agriculture Organization

fig : figure

G : le conflément alvéographique

GH: Gluten Humide

GS: Gluten Sec

IB: Indice de Brun

ICC : International Conseil of Cereals

Ie : Indice d'élasticité à l'alvéographe

ISO : Organisation Internationale de Normalisation

ITGC : Institut Technique des Grandes Cultures.

LISTE DES ABBREVIATIONS

IJ: Indice de Jaune

JORA : Journal Officiel de la République Algérienne

L : l'extensibilité alvéographique

M.A.D.R : Ministère de l'Agriculture et de Développement Rural

MS: Matière Sèche

NF : norme française

nm : nanomètre.

P : ténacité alvéographique

pH : potentiel d'hydrogène

pHi : potentiel d'hydrogène isoélectrique

P/L : rapport de configuration alvéographique

PM : poids moléculaire.

PMG : poids de mille grains

PT : Protéines Totales.

r : coefficient de corrélation

rpm : rotation par minute.

SDS: Dodecyl Sulfate de Sodium

SDS-PAGE : Sodium Dodécylsulfate Polyacrylamide Gel Electrophoresis.

Sg : écart géométrique

SG-FPM: Sous unité Gluténine Faible Poids Moléculaire.

SG-HPM: Sous unité Gluténine Haute Poids Moléculaire.

TCA : acide trichloroacétique.

Tris: tris-hydroxyméthyl-aminométhane.

W : la force alvéographique

Introduction

INTRODUCTION

Les céréales sont présentées par les nutritionnistes comme un élément indispensable de l'équilibre alimentaire, et promues par l'industrie agro-alimentaire comme « aliment santé ».

Parmi les céréales, le blé en particulier occupe une place importante dans la production agricole et constitue la nourriture de base pour 35% de la population mondiale (**MEBARKIA et al.**, 2005).

En Algérie, selon les données statistiques du **M.A.D.R** (2013) les superficies consacrées au blé dur sont de 1 447 902 hectares, dont 1 180 332 hectares ont été récoltées.

Le progrès génétique et l'amélioration des techniques culturales ont permis une augmentation des rendements qui se sont élevés à 19,8 (qx/ha) en 2013 (**M.A.D.R**, 2013).

Toutefois l'autosuffisance reste difficile à atteindre. Les efforts enregistrés sont contrecarrés par un taux de croissance démographique élevé. Pour faire face à ces besoins sans cesse croissants, l'Algérie importe actuellement environ 102 433 tonnes de blé dur soit 42,83 millions de dollars pour répondre à la demande, qui représente 60% des besoins nationaux (**CNIS**, 2013).

La recherche de variétés produisant un rendement élevé en grains peut aboutir à l'obtention de variétés de mauvaise qualité, en particulier de mauvais rendement semoulier.

Pour cette raison, une attention particulière est prêté aux valeurs nutritionnelles et technologiques des cultivars obtenus. L'étude des paramètres technologiques sert de critères de sélection dans le programme d'amélioration génétique.

La qualité technologique dépend essentiellement des protéines de réserve, groupe englobant les gliadines et les gluténines. En effet, ces protéines sont déterminantes pour conférer au gluten la capacité de former un réseau viscoélastique au cours des processus

INTRODUCTION

technologiques. Les gliadines sont responsables de la viscosité du réseau alors que les gluténines sont davantage responsables de son élasticité.

C'est dans ce cadre que s'intègre ce travail qui a pour objectif d'étudier les caractéristiques physico-chimiques et biochimiques (quantification des fractions protéiques : albumines-globulines, gliadines, gluténines solubles, protéines insolubles) des semoules et de déterminer leurs relations avec quelques tests indirects d'appréciation de la valeur boulangère.

↳ Ce travail s'articule autour de quatre parties:

- La première partie sera consacrée à une synthèse bibliographique, cette partie présentera les différents tests d'appréciation de la qualité technologique ainsi les différentes fractions protéiques et leur contribution à la qualité boulangère
- La seconde partie présentera le matériel et les méthodes utilisées.
- La troisième partie se rapporte à l'analyse et l'interprétation des résultats obtenus.
- Enfin la quatrième partie sera réservée à une conclusion générale qui synthétisera les principaux résultats obtenus.

Synthèse bibliographique

I. QUELQUES GENERALITES SUR LE BLE DUR

1.1 Aspect botanique :

Le blé dur est une culture annuelle appartenant à la famille des *Poaceae* (graminées), sous famille des *Poideae* et tribu des *Triticeae*, qui comprend plus de 10 000 espèces différentes.

Le blé dur appartient à une espèce botanique différente de celle du blé tendre : *Triticum durum* (blé dur) espèce tétraploïde : $2n= 28$ chromosomes, *Triticum vulgare* (blé tendre) espèce hexaploïde : $2n= 42$ chromosomes (SOLTNER 2005).

Les épis sont barbus, les feuilles larges, la paille souple et fragile. L'amande est dure, à texture vitreuse (comme le riz) et se fragmente en semoule. La farine est non panifiable car son gluten est à très faible gonflement et à forte ténacité. Elle sert à la fabrication des pâtes et de semoules (SOLTNER 2005).

1.2 Composition histologique et chimique :

Le gain de blé mûr est un caryopse, c'est-à-dire un fruit sec indéhiscent à paroi très mince étroitement soudée à la graine. On distingue quatre parties principales : l'embryon ou le germe, l'albumen ou l'endosperme, la couche à aleurone et l'ensemble des membranes extérieures (fig. 1).

D'après GODON et WILLM (1991) ; FEILLET (2000), le germe du grain de blé est riche en lipides, protéines, vitamines et en éléments minéraux. Il représente environ 3% du grain. Il est éliminé à la mouture pour éviter le rancissement et augmenter la durée de conservation. Les enveloppes divisées en trois parties : le péricarpe, le tégument séminal et l'assise protéique, représentent 13 à 15% du grain. Le péricarpe et le tégument séminal sont essentiellement composés de cellulose, d'hémicellulose, de pentosanes et de matières minérales. L'assise protéique est riche en lipides (acide gras polyéthylénique 50 à 60% des acides gras insaturés), en protéines en faibles proportions, en matières minérales et en vitamines (0,6%). Les enveloppes sont éliminées pendant la mouture et donnent les sons.

L'amande ou albumen amylicé (82 à 85% du grain) est composée essentiellement d'amidon (63 à 72%) et de protéines (7 à 15%) (ADRIAN 1994).

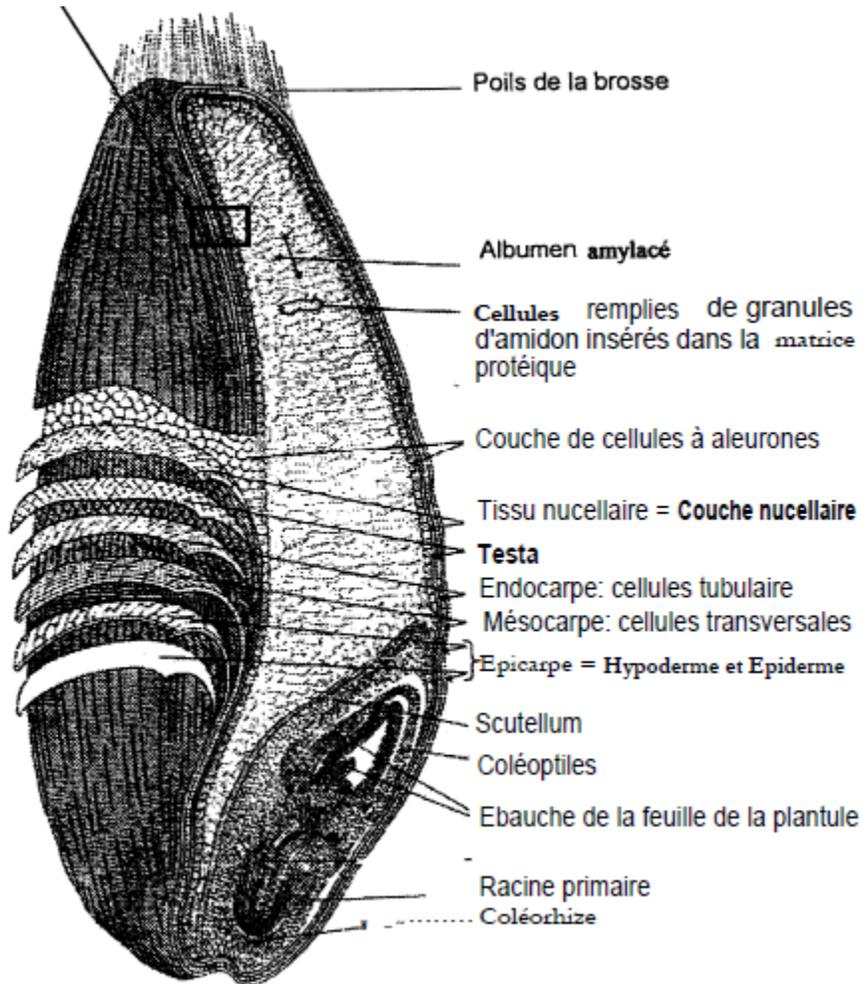


Figure 1 : Coupe longitudinale d'un grain de blé (POMERANZ 1987)

1.3 Mouture de blé dur :

La mouture est l'opération centrale de la transformation des blés en farines et en semoules (FEILLET, 2000). Elle a pour but d'isoler l'albumen amylicé exempt de toute contamination par les parties périphériques du grain (ABECASSIS, 1991) avec un rendement élevé en semoule de pureté déterminée (BARRON et al., 2011).

Le processus de la mouture du blé dur comprend en premier l'ouverture du grain pour extraire ensuite l'albumen amylicé progressivement de l'intérieure vers la périphérie du grain. Ce procédé se résume à des opérations de réduction et de séparation du blé et ses constituants.

II. QUALITE TECHNOLOGIQUE DES BLES DURS

Selon **GAUTIER** (1983) la notion de qualité des blés est assez imprécise et recouvre plusieurs aspects (agronomique, technologique, nutritionnel, sanitaire...). La qualité du blé est un ensemble complexe de paramètres résultant de l'environnement ainsi que des caractéristiques génétiques (**BAENZIGER et al.**, 1992; **PETERSON et al.**, 1992; **JONES et KOSINA**, 2007).

Selon **TROCCOLI et al.**, (2000) la qualité du blé dur est un concept en évolution continue en réponse aux demandes du marché et des préférences des consommateurs pour les attributs spécifiques des différents produits finis.

La qualité d'un blé dur correspond en premier à son aptitude à être transformé en semoule (valeur semoulière) qui elle même sera valorisée en pastification, panification, couscous... On parle alors de valeur pastière, de valeur boulangère, de valeur couscoussière...

2.1 Valeur semoulière :

C'est l'aptitude d'un blé dur à donner un rendement élevé en semoule de pureté déterminée (**ABECASSIS et CHAURAND**, 1997). Il s'agit donc essentiellement d'une aptitude quantitative limitée toutefois par une notion de pureté de façon à tenir compte du degré de contamination par les parties périphériques du grain (**ABECASSIS**, 1993). La valeur semoulière dépend de trois groupes de facteurs (**ABECASSIS**, 1993; **PORCEDDU**, 1995 ; **CHAURAND et al.**, 2000) :

- **Les facteurs extrinsèques** : très liés aux conditions de culture, de récolte et de stockage des blés d'où on en tient compte lors des transactions commerciales. Ce groupe comprend plusieurs paramètres dont la teneur en eau, le taux d'impuretés et le taux de grains cassés.
- **Les facteurs intrinsèques** : dépendent essentiellement des caractéristiques propres du blé qui définissent ainsi sa qualité technologique par conséquent : rapport albumen/enveloppes, friabilité de l'amande, facilité à séparer l'albumen des enveloppes. Les travaux de **PEYRON et al.**, (2002) indiquent que la friabilité de l'amande et la séparabilité entre amande/enveloppes (degré d'adhésion des tissus), sont des facteurs déterminants de la valeur semoulière du blé dur.
- **Les facteurs réglementaires** : rattachés à la teneur en matières minérales des blés. Plus le taux de cendres d'un produit sera faible et plus il sera considéré comme pur du point de vue réglementaire. L'influence de la teneur en matières minérales des grains sur le taux de cendres des produits de mouture est particulièrement importante dans le cas du blé dur (**ABECASSIS et FEILLET**, 1985).

2.2 Valeur pastière :

D'après (**ABECASSIS et CHAURAND**, 1997), cette notion réunit deux notions très distinctes : d'une part, l'aptitude des semoules à être transformées en pâtes alimentaires (facilité de malaxage, de tréfilage et de séchage) ; d'autre part, la qualité du produit fini (l'aspect des pâtes à l'état cru et leur comportement durant et après la cuisson).

La qualité d'utilisation finale de blé dur est principalement déterminée par le rendement en semoule et la viscoélasticité des pâtes cuites (**TROCCOLI et al.**, 2000). Elle est largement affectée par la composition protéique (**OHM et al.**, 2010). Les différences observées dans la qualité technologique du grain de blé peuvent être dues à la fois aux différences des caractéristiques de l'amidon et de la teneur en protéines (**SINGH et al.**, 2008).

III. SEMOULE DE BLE DUR

Dans la transformation du blé dur (*Triticum durum* Desf.), la semoule représente le produit le plus important destiné à la consommation humaine.

3.1 Définition :

Le Codex Alimentarius définit la semoule comme " Le produit préparé à partir de grains de blé dur, par les procédés de broyage ou de fraisage dans lesquels le son et le germe sont essentiellement éliminés et le reste est broyé à un degré adéquat de finesse" (**Codex Alimentarius Standard**, 178-1991).

Selon la réglementation algérienne, la semoule de blé dur est le produit obtenu à partir des blés durs nettoyés et industriellement purs (**Anonyme**, 2007). La semoule est constituée par des fragments de l'amande du grain aussi purs que possible dont la taille granulométrique est supérieure à 150 µm (**ABECASSIS et al.**, 2010).

3.2 Classification :

En fait, il n'existe pas un seul mais de nombreux types de semoule qui sont définis en plusieurs catégories selon différents paramètres, tel que le taux de cendres, le taux d'humidité, et la granulométrie de la semoule.

D'après **APFELBAUM et al.**, (1981) ; **ABECASSIS** (1991), **J.O.R.A** (2007) ; les semoules peuvent être classées en fonction de leur provenance au niveau du grain de blé dur et de leur granulométrie.

- En fonction de la provenance de la semoule on peut distinguer :

- **Semoule supérieure:** Elle provient de la partie centrale de l'amande de grain de blé dur et a un faible taux de matières minérales. Elle sert à fabriquer les pâtes alimentaires dites "*supérieures*".
- **Semoule courante:** Elle contient plus de parties périphériques et a un plus fort taux de matières minérales. Elle sert à la fabrication de pâtes dites "*courantes*".

SYNTHESE BIBLIOGRAPHIQUE

Les spécifications techniques des semoules de blé dur mises à la consommation sont définies comme suit (Tableau 1).

Tableau 1: Spécifications techniques des semoules de blé dur à consommer

Désignation des produits	Taux de cendres rapportés à la matière sèche	Taux d'acidité exprimé en g d'acide sulfurique	Taux d'humidité maximum (%)
Semoule courante	1,3 max	0,08 max	14,5
Semoule extra	1 max	0,065 max	14,5

J.O.R.A, 2007

La semoulerie de blé dur fournit essentiellement des semoules aux industries de deuxième transformation (pâtes alimentaires et couscous), et une proportion directement aux consommateurs.

Ainsi, en Algérie quatre catégories de semoules sont obtenues en fonction de leurs grosseurs :

-Semoules grosses (SG) : la taille des particules est comprise entre 900 et 1100 μm , destinées à des usages domestiques.

-Semoules grosses moyennes (SGM) : la dimension est comprise entre 550 et 900 μm , utilisées pour la fabrication du couscous et pain traditionnel (galette).

-Semoules sâssées super extra (SSSE) : Semoule de blé dur principalement utilisée dans l'élaboration de pâtes alimentaires, couscous et galettes ; avec une granulométrie comprise entre 190 et 550 μm .

-Semoules sâssées super fines (SSSF) : de 140 à 190 μm utilisées pour la fabrication de pâtes alimentaires pour les diabétiques et dans l'aliment de bétails.

SYNTHESE BIBLIOGRAPHIQUE

Tableau 2 : Principaux types de semoules fabriquées en Algérie

Type de semoule	Granulométrie	Utilisations
Semoule Extra (SE)	90% de refus au tamis N° 120	Fabrication de pâtes alimentaires industrielles
Semoule Moyenne (SM)	90% de refus au tamis N° 100	Fabrication de couscous, galette, biscuits, crêpes et de couscous industriel de type moyen
Semoule Grosse (SG)	50% de refus au tamis N° 40 et N° 30	Fabrication de gros couscous

(BENBELKACEM *et al.*, 1995)

3.3 Propriétés physico-chimiques

3.3.1 Composition biochimique :

La semoule de blé dur est un composé complexe (Tableau 3), comportant différents constituants (protéines, lipides, sucres,...) qui jouent un rôle direct ou indirect soit dans la structuration et l'aération de la pâte en panification soit dans la fabrication de différentes pâtes alimentaires.

Tableau 3 : Composition biochimique en g pour 100 g de semoule de blé dur

Constituants	Teneur (% MS)
Eau	13.1
Protéines	9.56-12.6
Amidon	68.96-70.4
Polysaccharides non amylacés	3.9
Lipides	0.79-3.8

(SOUCI *et al.*, 1994 et FAVIER *et al.*, 1995)

Selon **GODON** (1995), l'amidon est pondéralement le constituant majeur de la semoule de blé dur (60 à 70%).

Les cellules de semoule sont constituées de grains d'amidon piégés dans une matrice de protéines. La texture des grains résulte de la force de cette liaison protéine-amidon. Lorsque le blé est broyé, la liaison protéine-amidon se rompt facilement, ce qui entraîne des granules d'amidon endommagés (**HOSENEY**, 1994).

Le niveau de dégradation de l'amidon varie en fonction de la sévérité de broyage et de la dureté du grain de blé. Le taux d'absorption d'eau au cours de la fabrication des pâtes et de la dégradation enzymatique de l'amidon augmente avec l'augmentation du taux d'amidon endommagé (**BASS**, 1988; **BETTGE et al.**, 1995 et **VAN DER BORGHT et al.**, 2005).

NERON (2000) a rajouté que le pourcentage de l'amylose est un des facteurs qui conditionnent les propriétés rhéologiques de l'amidon au cours de différentes étapes de transformation.

LAURO et al., (1997) affirment que l'amylose absorbe beaucoup d'eau à la cuisson, et en grande partie responsable du gonflement des granules de l'amidon.

Les solutions d'amylopectines ne se rétrogradent pas.

Selon **SISSONS**, (2008), un taux d'amidon endommagé suffisant est nécessaire à un bon gazage lors de la fermentation ce qui affecte favorablement le volume du pain.

3.3.2 Propriétés physiques:

Plus une semoule est indemne de piqûres, plus elle est pure. La couleur jaune ambrée des semoules est fonction du facteur génétique mais également des conditions de transformation du blé (nettoyage, conditionnement, mouture).

3.3.2.1 L'odeur :

La semoule ne doit présenter aucune odeur particulière, car il existe des semoules présentant une odeur acide et un goût de rance suite à l'altération des lipides, ce qui influe sur la qualité des produits finis.

3.3.2.2 La granulométrie :

La granulométrie des semoules varie en fonction des marchés et des usages locaux. Dans les pays de Maghreb et du Moyen Orient on utilise surtout des grosses semoules pour la fabrication du couscous où la consommation en l'état. Dans les pays Européens et d'Amérique du nord, où le développement de la semoulerie est lié à l'accroissement de la demande en pâtes alimentaires, on préférera utiliser des semoules moyenne ou fines (**GODON** et **WILLM**, 1998).

Les teneurs en cendres, en pigments, en protéines et en gluten sec et humide augmentent avec la diminution de la taille des particules de la semoule (**BOYACIOGLU** et **UNAL**, 1992).

Une demande croissante et une préférence de l'industrie pastière pour les semoules fines a été attribuée à une meilleure qualité du produit fini par **MANSER** (1989).

3.3.2.3 Coloration :

La couleur est l'un des principaux facteurs influençant la qualité du blé dur et le choix du consommateur. La couleur jaune ambré des produits d'utilisation finale (semoules et pâtes) est déterminée par le rapport entre les composantes jaune et brune de la semoule. Cette coloration est due essentiellement à la présence des pigments caroténoïdes et les lipoxygénases responsables de la dégradation de ces pigments au cours de la transformation de la semoule (**BORRELLI et al.**, 2008).

Au cours de la mouture une grande quantité des ces composants peut être perdue progressivement en fonction du taux d'extraction (**PANFILI et al.**, 2004).

Il est possible d'améliorer la couleur de la semoule, en agissant sur une combinaison entre les facteurs génétiques et les processus technologiques (**BORRELLI et al.**, 2008).

3.3.2.4 Les propriétés plastiques:

Les propriétés plastiques des semoules n'apparaissent qu'au moment où celles-ci sont transformées en pâtes alimentaires grâce au gluten, dont la quantité et la qualité conditionnent la valeur pastière des semoules.

3.3.2.5 L'élasticité :

Les semoules très pures, provenant du centre de l'albumen, possèdent de bonnes propriétés rhéologiques (en particulier d'élasticité) mais ont tendance à se déliter si la cuisson se prolonge. Inversement, les produits les plus périphériques fournissent des produits finis qui manquent d'élasticité mais qui peuvent conserver un remarquable état de surface même après cuisson (**ABECASSIS**, 1991).

IV. TESTS D'APPRECIATION DE LA QUALITE TECHNOLOGIQUE

La détermination de la valeur technologique suppose la mise en œuvre d'analyses directes (protocoles de fabrication) ou d'analyses indirectes d'appréciation de la qualité (analyses chimiques, rhéologiques...).

4.1 Méthodes directes d'appréciation de la valeur boulangère : essai de panification

Pour un boulanger, il n'existe certainement pas de meilleure méthode pour apprécier la qualité d'un échantillon de blé que de le soumettre à une transformation identique à celle pour laquelle cet échantillon est destiné, ce sont les tests directs de panification (**BRANLARD** et **AUTRAN**, 1986).

L'essai de panification suppose la mise en œuvre d'un protocole normalisé d'un test de fabrication à échelle réduite. En France, la valeur boulangère est appréciée pour le pain courant français par la méthodologie de type CNERNA et la méthodologie BIPEA. Un test de panification de type CNERNA ou BIPEA, consiste à fabriquer un pain, dans des conditions fixées pour apprécier la qualité des pâtes et des pains sur une grille de notation de l'évolution des propriétés de la pâte au cours du pétrissage, du façonnage, de

l'apprêt et de la mise au four, puis de la qualité de la mie et de la croûte (**FEILLET**, 2000).

Pour **ROUSSEL** (1984) le test de panification reste le moyen le plus fiable pour apprécier la valeur boulangère d'un lot de blé donné car il permet de juger la pâte et le pain.

Pour **CALVEL** (1980), l'essai de panification demeure le meilleur moyen d'évaluation de la valeur boulangère.

Cependant, le volume du pain, qui est l'évaluation finale de la bonne qualité boulangère (qualité du gluten) prend également beaucoup de temps et nécessite de grandes quantités de farine ou de semoule ainsi qu'un travail hautement qualifié (**NEUFELD** et **WALKER**, 1990; **KHATKAR** *et al.*, 1996).

Vu la complexité du test de panification, la lourdeur de sa mise en œuvre, le coût élevé et la difficulté à interpréter les résultats ont conduit au développement des tests indirects dont les résultats sont plus ou moins corrélés avec ceux des tests directs.

4.2 Tests indirects

La valeur boulangère est une caractéristique variétale en relation principalement avec la quantité et la qualité des protéines. Le seul examen de la détection de la variété ne suffit pas pour connaître sa valeur boulangère, il est souvent nécessaire de pratiquer d'autres méthodes de laboratoire moins longues et moins coûteuses que l'essai de panification pour apprécier la qualité d'une variété ou de mélanges de blé.

Aussi, des informations plus fiables peuvent être obtenues en déterminant les propriétés rhéologiques avec des tests de mixographe et alvéographe, utilisés industriellement pour évaluer la qualité de semoule (**MARTINEZ** *et al.*, 2005).

La granulométrie, l'amidon endommagé, les protéines, les alvéogrammes... correspondent à la mise en œuvre de ces analyses indirectes d'appréciation de la qualité boulangère des semoules. Certaines de ces méthodes sont retenues pour la classification des blés.

Chaque test ne tient compte que de certains aspects de la valeur en panification d'où l'intérêt d'en associer deux ou plusieurs d'entre eux pour un jugement plus précis.

Parmi ces tests certains mesurent les propriétés rhéologiques de la pâte, qui appartiennent principalement à deux familles :

- ✓ Ceux qui mesurent l'évolution des caractéristiques de la pâte au cours de sa formation tel que le mixographe;
- ✓ Ceux qui déterminent la consistance, la ténacité, l'extensibilité, l'élasticité ou la viscosité de la pâte une fois formée (alvéographe, extensigraphe, viscoélastographe...).

D'autres tests mesurent l'activité enzymatique (temps de chute de HARBERG ou Failling number par exemple), enfin d'autres s'adressent à la matière protéiques (test de sédimentation ZELENY, test de sédimentation en milieu SDS, Solvent Retention Capacity SRC, Swelling Index of Gluténin SIG...).

▪ Tests de sédimentation

Les tests de sédimentation ont été longtemps utilisés pour caractériser les blés (*Triticum aestivum* L. et *Triticum turgidum* ssp. *Durum*), farines et semoules dans le but de prédire les qualités de transformation et d'utilisation finale (**MORRIS** *et al.*, 2007).

AXFORD *et al.*, (1978) ont mis au point le test de sédimentation SDS pour la farine dans une solution acide lactique-SDS.

De nombreuses autres variations mineures sur la méthode généralisée d'**AXFORD** *et al.*, (1979) ont été utilisées (**PENA** *et al.*, 2000 ; **GUTTIERI** *et al.*, 2004).

QUICK et **DONNELLY** (1980) ; **KOVACS** (1985) et **DEXTER** *et al.*, (1980, 1981) ont appliqué le test de sédimentation SDS sur les blés durs. Ce test permet d'estimer la qualité des protéines d'un échantillon de semoule, par formation d'agrégats

suite au gonflement des protéines à base d'acide lactique et de SDS (**DICK** et **QUICK**, 1983).

Selon **MCDONALD** (1985), la méthode approuvée 56–70 pour le blé dur est un test robuste et hautement reproductible qui peut caractériser les blés sur la base de la quantité et la qualité des protéines. Ce test a permis d'avoir des corrélations positives avec le volume du pain (**PENA**, 2000).

MATUZ (1998) indique que les volumes de sédimentation SDS sont hautement héréditaires et peuvent être utilisés pour la sélection des lignées de chaque génération obtenue.

Pour **BRADY et al.**, (1999) un volume de sédiment élevé est associé à une bonne force du gluten et une qualité boulangère supérieure ; cependant il reste influencé par le poids de l'échantillon, le génotype, l'environnement et leurs interactions.

- **SIG**

WANG et **KOVACS** (2002 a, b) ont mis au point un nouveau test de type sélection appelé SIG (Swelling Index of Gluténin) ou indice de gonflement des gluténines dans le but d'apprécier les propriétés de la pâte et la qualité du produit fini.

Le test SIG est fortement corrélé avec le test gel protéique, le test SDS, et les gluténines insolubles.

- **Gluten index**

La valeur en gluten index a été appliquée aussi bien à la sélection des premières générations qu'à la mesure de la force du gluten dans les laboratoires des industries des pâtes alimentaires (**CLARKE et al.**, 2004).

Selon **RANHOTRA et al.**, (1992), le gluten index peut être employé comme un test prédictif et rapide de la qualité pastière et de la qualité boulangère des blés durs

Le gluten index est une alternative simple, acceptable pour examiner la force du gluten des blés durs, meilleur que la teneur en protéines, la teneur en gluten sec et humide et semblable au test de sédimentation (**CUBADDA** *et al.*, 1992).

▪ Le mixographe

Le mixographe a été développé en 1933 par Swanson et Working et a été accepté en 1961 par l'AACC comme un outil officiel, efficace pour la sélection du comportement des pâtes de blé sous contrainte constante.

CHUNG *et al.*, (2001) ont également rapporté l'utilité des paramètres de mixogramme comme outils de sélection pour une qualité boulangère acceptable, en raison de la forte héritabilité des paramètres de mixogramme.

Le mixographe est un instrument qui effectue certaines mesures rhéologiques au cours du pétrissage (**WALKER** et **HAZELTON**, 1996; **WIKSTRÖM** et **BOHLIN**, 1996; **BORDES** *et al.*, 2008); il a été utilisé pendant des décennies pour classer le blé et pour la prédiction de la qualité du produit fini. Le mixogramme donne des informations sur le temps de développement optimale de la pâte, la force de la pâte, le développement de la pâte, la tolérance au pétrissage et la stabilité de la pâte (**WALKER** et **HAZELTON**, 1996; **WALKER** *et al.*, 1997).

NEACSU *et al.*, (2009) ont indiqué que cinq paramètres sont efficaces pour prédire l'aptitude du blé à la transformation dans les programmes de sélection, et sont descriptifs de tous les aspects rhéologiques basiques de pétrissage. Ces paramètres présentent des faibles corrélations entre eux et sont le pic initial (indicateur de l'absorption d'eau), le temps de développement de la pâte (indicateur des exigences du pétrissage), la hauteur du pic (indicateur de la force de la pâte), l'épaisseur à l'affaiblissement (indicateur de l'extensibilité) et l'affaiblissement (indicateur de la stabilité). Ces paramètres expliquent 91% de la variance observée dans le volume du pain.

CHUNG *et al.*, (2001) ont rapporté des corrélations significatives entre la teneur en protéines et l'épaisseur au pic max, entre le temps de pétrissage et l'épaisseur de la

courbe à l'affaiblissement, entre le temps de pétrissage et l'épaisseur de la courbe à 2 minutes et entre le volume du pain et l'épaisseur au pic max.

▪ L'Alvéographe

L'alvéographe est largement utilisé pour évaluer la force du gluten et les propriétés rhéologiques des pâtes de blé dur (FOIS *et al.*, 2011).

L'alvéographe est un instrument qui mesure la pression ainsi que le volume d'air nécessaire pour souffler une bulle en expansion à partir d'une mince feuille de pâte. Le graphique obtenu, l'alvéogramme (Fig. 2), fournit des informations telles que la stabilité ou ténacité de la pâte (P), l'extensibilité ou l'élasticité de la pâte (L), la force de la pâte (W) et le rapport entre P et L (P/L) (MILES, 2010). Tous ces paramètres sont influencés par la quantité et la qualité des protéines (VAN LILL et SMITH, 1997).

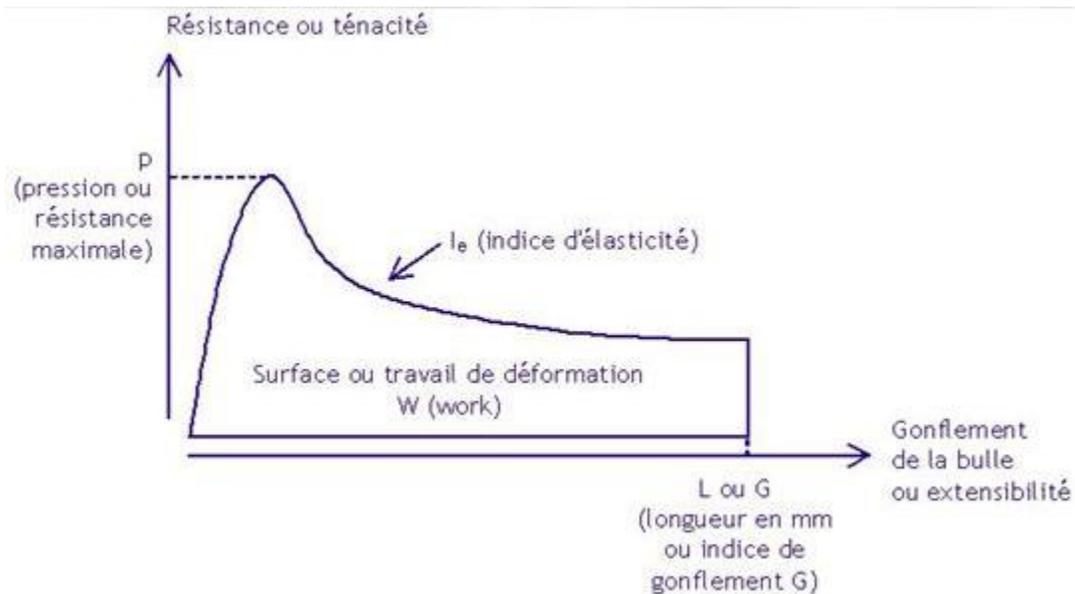


Figure 2 : Alvéogramme d'une pâte de blé et les paramètres de force calculés (DEL FRATE, 2005).

MIRALBES, (2004) a indiqué que la valeur W doit être considérée comme le seul plus important sélecteur pour contrôler la qualité boulangère et BORDES *et al.*,

(2008) ont rapporté que la valeur W résume tous les autres paramètres pouvant être obtenu à partir d'un alvéogramme.

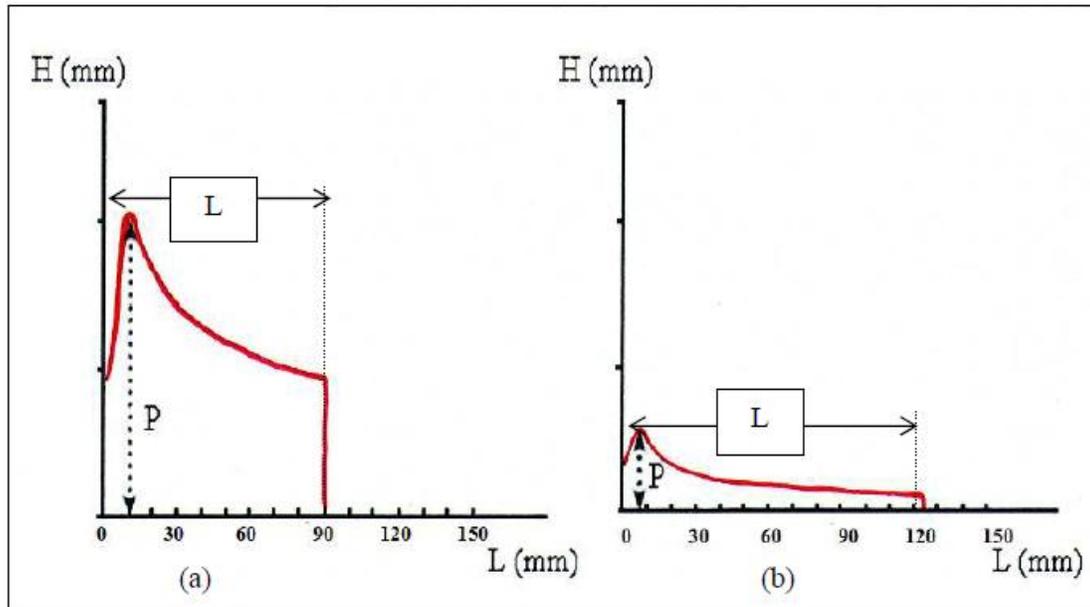


Figure 3 : Alvéogrammes de deux pâtes à base de blé dur : (a) : pâte forte, (b) : pâte faible (NAEGA, 2005)

Parmi les tests indirects d'appréciation de la qualité technologique, **PENA** (2000) a conclu que le test SDS et le gluten index sont de bons indicateurs de la qualité boulangère du blé dur d'après les corrélations positives observées entre le volume du pain et la force du gluten avec les volumes de sédimentation SDS, les paramètres du mixographe et le gluten index.

Les travaux de **SAPIRSTEIN** et *al.*, (2007) ont aboutit à l'existence de relations entre les propriétés technologiques et la force du gluten de blé dur par le biais des paramètres suivants : W alvéographique, temps de développement au mixographe et au farinographe et le volume du pain.

Dans leurs études, **RAO** et *al.*, (2010), ont trouvé des corrélations négatives entre la ténacité et l'extensibilité de la pâte et des corrélations positives entre l'extensibilité et le volume du pain. Ils confirment que plus l'extensibilité augmente, meilleur est le

volume du pain de blé dur. Ainsi, le rapport P/L est corrélé négativement avec le volume du pain et l'extensibilité de la pâte.

4.3 Critères de sélection de blé dur pour une bonne qualité boulangère :

Une bonne semoule boulangère exige un gluten fort capable de produire une vaste matrice viscoélastique lors de la formation de la pâte et qui a de bonnes propriétés physiques, entre autre une haute résistance à l'extension et une extensibilité modérée (SISSON, 2008).

Les tests d'appréciation traditionnels comme le farinographe, l'extensiographe et l'alvéographe ont trouvé le gluten de blé dur inélastique et trop faible (LIU *et al.*, 1996).

QUAGLIA (1988) a conclu que pour faire du pain de blé dur, la semoule ou la farine devrait avoir une granulométrie de particules de 120-190 μm , moins de 7- 7.5% d'amidon endommagé, une teneur en protéines supérieure à 13%, et une bonne qualité de gluten (un rapport P/L > 1.5 et un $W = 200 \times 10^{-4}$ Joules).

Du fait que la majorité des tests d'appréciation de la qualité boulangère sont influencées par la quantité et la qualité des fractions protéiques, nous essaierons dans le chapitre qui suit de faire une synthèse bibliographique sur ces dernières.

V.LES PROTEINES DU BLE

Les protéines du blé sont les plus connues parmi les protéines des céréales, elles ont la propriété unique de former après hydratation une masse cohérente, insoluble et viscoélastique, le gluten, ce qui a suscité depuis le 18^{ème} siècle l'intérêt des chercheurs à étudier ces protéines (BENMBAREK, 2004).

D'un point de vue quantitatif, les protéines sont le deuxième élément en importance dans la farine et la semoule de blé après l'amidon. Leur teneur varie de 8% à 16% (MS) selon l'espèce et le degré de maturité du grain (BENMBAREK, 2004).

5.1 Classification des protéines de blé:

Les premières études menées autour des protéines de réserve remontent au 18^e siècle (**BECCARI**, 1745) (**GIANIBELLI** et *al.*, 2001).

En 1907, **Osborne** a développé une première classification des protéines du blé basée sur leurs solubilités (Tableau 4) :

- Les albumines : solubles dans l'eau.
- Les globulines : solubles dans les solutions salines diluées.
- Les gliadines : solubles dans les solutions alcooliques diluées.
- Les gluténines : partiellement solubles dans les solutions d'acides diluées, d'alcalis (urée) solubilisées en présence de détergents tel que le SDS en présence d'agents réducteurs (Mercapto-2-éthanol, Dithiothreitol).

Tableau 4 : Composition en protéines du blé

Groupes	Solubilité	Poids moléculaires (Da)	Teneur en protéines (%)	Origine
Albumines	Eau	5.000 à 90.000	15 à 20	Protéines cytoplasmiques
Globulines	Sels neutres			
Gliadines	Ethanol 70 %	25.000 à 75.000	30 à 40	Protéines de réserve
Gluténines	Acides, bases, réducteurs, détergents	100.000 à plusieurs millions	40 à 50	

D'après **OSBORNE** (1907) rapporté par **MELAS** et *al.*, (1993)

Bien que ce fractionnement soit encore largement utilisé, il est maintenant reconnu que les quatre classes ne sont pas tout à fait pures et qu'il y ait des contaminations d'une classe à l'autre (**AMIOUR** et *al.*, 2002).

La nouvelle classification proposée par **MIFLIN** en 1986 après de nombreux travaux est basée sur les propriétés physicochimiques et fonctionnelles des protéines des céréales. Elles peuvent donc être divisées en deux grandes classes :

➤ **Les protéines cytoplasmiques ou métaboliques:** qui correspondent aux albumines et globulines.

➤ **Les protéines de réserves** qui correspondent aux gliadines et aux gluténines présentes dans l'albumen. Ces protéines peuvent être classées en deux groupes principaux : les gliadines monomériques et les gluténines polymériques, puis en trois sous groupes en fonction de leur teneur en soufre (Fig. 4).

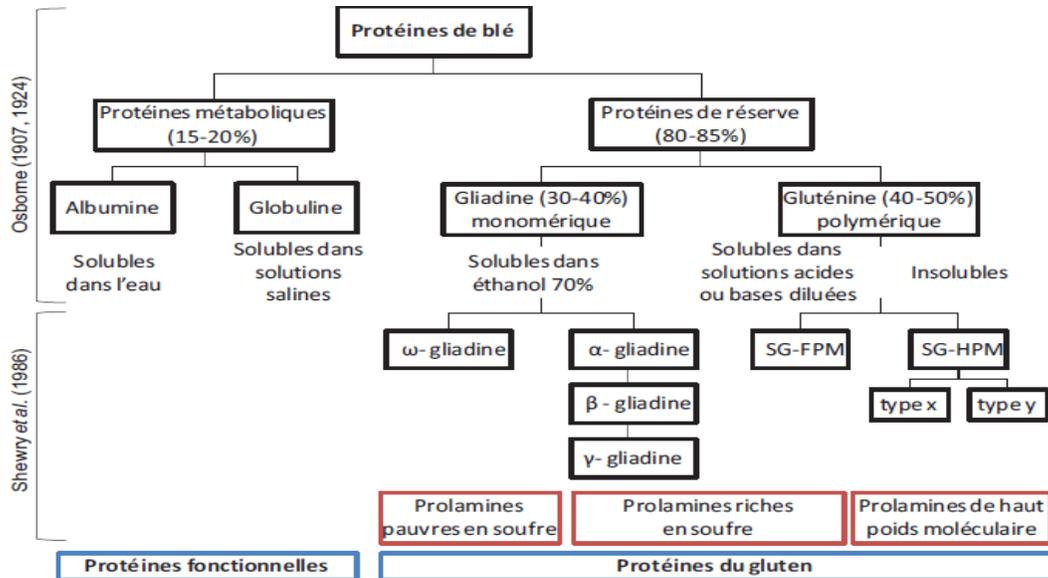


Figure 4 : Classification des protéines du blé, comparaison des classifications d'OSBORNE (1907) et de SHEWRY *et al.*, (1986).

5.1.1 Les protéines solubles

Les albumines, solubles dans l'eau et les globulines, solubles dans des solutions salines diluées, souvent regroupées sous le terme de protéines solubles ou d'albumines/globuline, représentent entre 15 et 20% du total des protéines de blé ; se retrouvent principalement dans les couches superficielles du grain de blé et à une plus faible concentration dans l'endosperme (GOESAERT *et al.*, 2005).

Les albumines et les globulines sont généralement considérées comme des protéines métaboliques ou structurelles (WRIGLEY et BIETZ, 1987).

La plupart d'entre elles sont des enzymes ou des inhibiteurs d'enzymes (GIANIBELLI *et al.*, 2001).

Les albumines et les globulines sont principalement des protéines monomériques physiologiquement actives ou des protéines de structure (**GOESAERT** et *al.*, 2005).

Ces protéines participent à la formation du grain et à l'accumulation des réserves dans l'albumen (**VENSEL** et *al.*, 2005).

Le poids moléculaire varie de 12.000 à 60.000 Da pour les albumines et de 20.000 à 210.000 Da pour les globulines (**DACOSTA**, 1986).

Selon **GODON** et **WILLM** (1991) les albumines ont un poids moléculaire de 10.000 à 30.000 Da et les globulines possèdent un poids moléculaire moyen de 100.000 Da, alors que leurs poids moléculaires varient entre 5.000 et 90.000 Da (**MELAS** et *al.*, 1993), et sont inférieures à 30.000 Da (**GIANIBELLI** et *al.*, 2001).

Elles rassemblent de nombreuses protéines possédant des propriétés physicochimiques (masse moléculaire, composition en acides aminés, pH isoélectrique) et fonctionnelles (activités enzymatiques: alpha et beta-amylase, protéases, oxydoréductases, inhibiteurs d'enzymes, pouvoir émulsifiant) très diverses (**ZAHID**, 2010).

5.1.2 Les protéines de réserves (protéines de gluten)

Ces protéines sont synthétisées et accumulées dans l'endosperme au cours du développement de la graine pour la germination éventuelle de la graine.

A l'état natif le gluten est un polymère formé de gliadines et de gluténines (**SHEWRY** et *al.*, 1984). L'élasticité et la ténacité du gluten sont généralement des propriétés attribuées à la présence des gluténines, alors que sa viscosité est associée à celle des gliadines (**TATHAM** et **SHEWRY**, 1985).

Le gluten contient environ 75-85% de protéines et 5-10% de lipides, les composants restants sont des hydrates de carbones amylicés et non amylicés (**WIESER**, 2007).

Selon **MELAS** et *al.*, (1993) les gliadines et les gluténines représentent 70 à 80 % des protéines totales de la farine.

5.1.2.1 Les gliadines

Selon la définition d'**OSBORNE** (1907), les gliadines sont la fraction soluble dans l'éthanol à 70% des protéines du blé, dont elles représentent 30 à 40%.

Les gliadines sont des protéines monomériques dont les ponts disulfures sont intramoléculaires. Elles se répartissent en oméga, bêta, alpha et gamma-gliadines selon leurs mobilités électrophorétiques (**MACRICHIE**, 1985).

Les α -, β - et γ gliadines présentent un poids moléculaire de l'ordre de 30.000-45.000 Da avec des pHi compris entre 6,5 et 8, tandis que les ω -gliadines se distinguent par un poids moléculaire plus élevé, allant jusqu'à 75.000 Da et des pHi compris entre 5 et 7 (**FEILLET**, 2000 ; **SHEWRY** et **HALFORD**, 2002).

ÖRNEBRO *et al.*, (1999) ont mentionné quelques caractéristiques des différentes fractions de gliadines. (Tableau 5).

Tableau 5 : Quelques caractéristiques des gliadines

gliadines	Poids moléculaires ^a (Da)	Dimension (nm) ^b
α -gliadines	31.000	11.7×3.1
β -gliadines	33.000	11.7×3.1
γ -gliadines	33.000	12.5×3.2
ω -gliadines	44.000 à 74.000	15.4×3.2

ÖRNEBRO *et al.*, (1999)

a : sur la base du séquençage des gènes pour α , β et γ gliadines et sur la base de SDS-PAGE pour les ω -gliadines.

b : longueur et diamètre en considérant les gliadines comme un cylindre.

Les ω -gliadines se différencient des autres gliadines par leurs teneurs très élevée en glutamine, proline et phénylalanine et par l'absence d'acides aminés soufrés (cystéine et méthionine) elles sont donc dépourvues de ponts disulfures. (**FEILLET**, 2000).

Les ω -gliadines n'ont pas de structure compacte du fait qu'elles ne contiennent pas de ponts disulfures à l'inverse des α -, β - et γ -gliadines dont la structure est plus compacte et contiennent des ponts disulfures intramoléculaires pouvant contribuer à la stabilité de la pâte et ses propriétés fonctionnelles (**SHEWRY** et **TATHAM**, 1997).

5.1.2.2 Les gluténines

Ce sont des assemblages protéiques insolubles dans l'eau et l'éthanol et solubilisés en présence d'agents fortement dissociant comme l'urée (**POMERANZ**, 1965) ou le dodecyl sulfate de sodium (SDS) (**GRAVELAND** et *al.*, 1979).

Les gluténines représentent 40 à 50 % des protéines totales de la farine (**MELAS** et *al.*, 1993). Elles contiennent différentes sous-unités polypeptidiques, reliées par des ponts disulfures intermoléculaires; subdivisées en sous unités à faible poids moléculaire et à haut poids moléculaire selon leur mobilité électrophorétique en gels polyacrylamide. (**MARTINEZ** et *al.*, 2005).

Les ponts disulfures intra et intermoléculaire jouent un rôle majeur dans l'établissement de la structure tridimensionnelle des sous-unités de gluténines et de leur degrés de polymérisation (**SHEWRY** et *al.*, 1995).

Les SG-HPM (95.000-140.000 Da) représentent approximativement 10% des protéines de réserve (**PAYNE** et *al.*, 1984 ; **WIESER**, 2007), et 30 % des gluténines totales (**TATHAM** et *al.*, 1985a).

Les SG-FPM (40.000-51.000 Da) représentent 40% des protéines de réserve (**JIANG** et *al.*, 2008), et 60 à 80% des gluténines totales (**PAYNE** et *al.*, 1984), avec un poids moléculaire allant de 32.000 à 39.000 Da (**WEISER**, 2007).

WIESER (2007) a rapporté certaines caractéristiques des différentes fractions protéiques des gluténines (Tableau 6).

Tableau 6: Quelques caractéristiques des différentes fractions protéiques des gluténines

type	poids moléculaire (x10 ³) Da	Proportions (%) ^a	la composition partielle en acide aminée				
			Gln	Pro	Phe	Tyr	Gly
x- SG-HPM	83-88	4-9	37	13	0	6	19
y- SG-HPM	67-74	3-4	36	11	0	5	18
SG-FPM	32-39	19-25	38	13	4	1	3

WIESER (2007)

a : par rapport au protéines totales du gluten.

5.2 Rôle des protéines dans l'expression de la qualité boulangère :

Les principaux facteurs déterminant la qualité boulangère d'un blé sont la qualité et la quantité de ses protéines (**GOESAERT et al.**, 2005).

Selon **PARK et al.**, (2006) les protéines sont connues pour être l'unique composant du blé responsable de sa qualité boulangère.

DOWELL et al., (2008) et **PARK et al.**, (2006) ont trouvé que la teneur en protéines de la farine est positivement et hautement corrélées avec le volume du pain.

FLAGELLA et al., (2010) ont trouvé une corrélation positive entre le volume de sédimentation SDS et la teneur en protéines déjà signalé par **FLAGELLA et al.**, (2006), **AMES et al.**, (2003) et **CLARKE et al.**, (2004).

BOCKSTAELE et al., (2008) ont montré que la teneur en protéines a un grand effet sur les propriétés rhéologiques de la pâte, et qu'elle est corrélée au W alvéographique ainsi qu'au volume du pain.

Des teneurs élevées en protéines sont souvent reliées à une bonne qualité boulangère, cependant la quantité des protéines à elle seule ne peut expliquer toutes les variations de la qualité boulangère (**LI et al.**, 2008); d'autres facteurs tels que la qualité de ces protéines sont aussi importants (**JOOD et al.**, 2001 cité par **LI et al.**, 2008).

Selon **SUCHY et al.**, (2007), il existe généralement une relation directe entre la quantité et la qualité des différentes fractions protéiques du blé, et les propriétés rhéologiques de la pâte qui définissent sa force.

Les relations établies entre la composition protéique et la qualité boulangère ont montré que les teneurs en protéines totales, albumines+globulines, sous unités gluténines HPM et FPM dans la semoule sont significativement et positivement corrélées au volume du pain (**WANG et al.**, 2007).

5.2.1 Rôle des albumines globulines

Beaucoup de recherches ont été réalisées en ce qui concerne l'influence et la contribution des albumines et globulines dans la qualité boulangère mais les résultats obtenus sont assez contradictoires.

WRIGLEY et al., (1982) ; **MACRITCHIE et al.**, (1990) considèrent que les albumines-globulines n'ont pas d'effet sur la qualité boulangère.

D'après **ROUSSEL et LOISEL** (1984) ; **GODON et WILLM**, (1991) ces protéines ont peu d'intérêt dans le déterminisme de la qualité boulangère.

Les niveaux d'albumines-globulines sont des paramètres qui n'influencent pas considérablement le volume du pain (**MILLAR**, 2003).

PARK et al., (2006) ont trouvé que le pourcentage des albumines + globulines par rapport aux protéines totales est négativement corrélé au volume du pain.

Inversement d'autres auteurs considèrent que ces fractions contribuent positivement à la qualité boulangère des pâtes des blés durs.

Ainsi, **MARAIS et D'APPOLONIA**, (1981a, b) ; **MACRITCHIE**, (1985) ; **SINGH et al.**, (1990) ont signalé que les protéines salino-solubles semblent être reliées aux paramètres de qualité (volume du pain).

Selon **LASZTITY**, (1984) plusieurs albumines et globulines cytoplasmiques possèdent des fonctions biologiques et peuvent influencer les caractères technologiques et la qualité boulangère des blés.

CORNELLE et al., (1998) ont aussi signalé l'importance des protéines salino-solubles dans la qualité boulangère, ainsi l'élimination de cette fraction provoque une diminution du volume du pain.

Pour **RASIAH et al.**, (2005) les albumines et les globulines jouent un rôle important dans les propriétés texturales de la mie du pain.

WANG et al., (2007) ont trouvé que le pourcentage des albumines + globulines dans la semoule est significativement et positivement corrélé au volume du pain.

Malgré les rôles positifs des albumines-globulines signalés par certains auteurs, il demeure que les principaux éléments déterminants de la qualité boulangère sont les protéines du gluten (**GOESAERT et al.**, 2005).

5.2.2 Rôle des protéines de gluten

Comparée à la farine de blé tendre, la semoule de blé dur présente une teneur plus élevée en gluten mais de caractéristiques rhéologiques inférieures (**LIU et al.**, 1996). Cela est dû à la différence de distribution des fractions de gluten (**PERSINI et al.**, 1999).

Le gluten de blé dur contient des teneurs élevées en gliadines et des teneurs faibles en gluténines, ce qui explique sa faible élasticité (**QUAGLIA**, 1988 ; **BOYACIOGLU et DAPPOLONIA**, 1994a).

Les protéines du gluten (gliadines et gluténines) sont reconnues comme les composants majeurs responsables des variations des caractéristiques de la qualité boulangère (**PARK et al.**, 2006).

Le caractère viscoélastique dépend des protéines polymériques (gluténines) qui contribuent à l'élasticité de la pâte, et des protéines monomériques (gliadines) qui contribuent à son extensibilité (**CORNEC** *et al.*, 1994 ; **FLAGELLA** *et al.*, 2010).

HOSENEY (1994) et **WIESER** *et al.*, (2006) ont rapporté que le complexe du gluten se compose des gliadines monomériques responsables de la viscosité et l'extensibilité de la pâte, et des gluténines polymériques responsables de la force et l'élasticité de la pâte.

Les protéines du gluten de blé (gliadines et gluténines) sont responsables des propriétés viscoélastiques de la pâte et de son aptitude à retenir le CO₂ lors de la fermentation (**VERBRUGGEN** *et al.*, 1998). Elles déterminent aussi le temps de pétrissage de la pâte et les caractéristiques boulangères (**NASH** *et al.*, 2006).

La qualité boulangère découle des propriétés rhéologiques de la pâte qui elles mêmes dépendent de la quantité et de la qualité des protéines du gluten (Fig. 5).

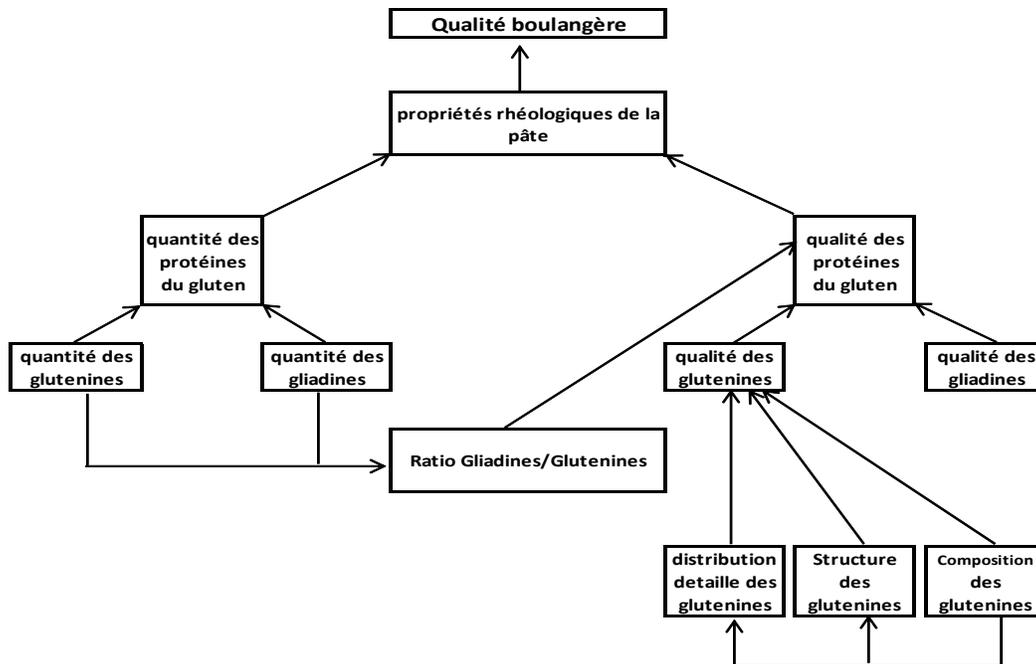


Figure 5 : Facteurs régissant la qualité boulangère et les propriétés rhéologiques de la pâte rapportée par **GOESAERT** *et al.*, (2005) .

La capacité unique de blé à produire une pâte viscoélastique est principalement due aux protéines de réserves (AAMODT *et al.*, 2005).

5.2.2.1 Rôle des gliadines :

Les données relatives aux relations entre les gliadines et la qualité boulangère sont contradictoires. Plusieurs équipes de recherches ont observé que cette fraction n'a aucun effet significatif et que ce sont les gluténines, les composants majeurs responsable du volume du pain. (GUPTA *et al.*, 1992 ; UTHAYAKUMARAN *et al.*, 1999 ; WANG *et al.*, 2007). Au contraire, d'autres chercheurs considèrent que les gliadines sont positivement et étroitement reliées au volume du pain (HOSENEY *et al.*, 1969a ; FINNEY *et al.*, 1982 ; BRANLARD et DARDEVET, 1985 ; WEEGELS *et al.*, 1994 ; KHATKAR *et al.*, 2002a).

Selon ZHANG *et al.*, (2008) la composition en gliadines est relativement moins importante dans le processus de qualité du fait de leurs structures moléculaires monomériques et de la variation complexe de leurs allèles.

Pour UTHAYAKUMARAN et LUKOW (2005) les protéines monomériques constituées principalement de gliadines sont associées avec la viscosité et l'extensibilité de la pâte.

DOWELL *et al.*, (2008) trouvent des corrélations élevées entre la teneur en gliadines totales et le volume du pain.

Les gliadines sont généralement, considérées comme contribuant à la viscosité ainsi qu'à l'extensibilité du gluten (FEILLET, 2000 ; GIANIBELLI, 2001 ; ANALIA *et al.*, 2012).

5.2.2.2 Rôle des gluténines

Parmi les protéines de réserve du blé, les fractions gluténines sont connues pour être responsables des principales différences dans la qualité boulangère (UTHAYAKUMARAN *et al.*, 2006).

CHAKRABORTY et **KHAN** (1988bs) trouvent qu'indifféremment du processus de fractionnement, les fractions contenant des quantités élevées en gluténines donnent des volumes de pain élevés.

GUPTA *et al.*, (1993) ont rapporté que ce sont la taille et la distribution en taille moléculaire des protéines polymériques totales (solubles et insolubles) qui semblent importantes dans la détermination de la qualité boulangère et pas nécessairement leur quantité. Par conséquent, la structure polymérique des gluténines est directement liée à la contribution des différentes sous unités gluténines aux propriétés moléculaires de la pâte et est donc reconnu comme l'un des principaux déterminants des propriétés physiques de la pâte (**MACRITCHIE**, 1999 ; **DON** *et al.*, 2003).

ZHANG *et al.*, (2007) ont trouvé des corrélations élevées et positives entre les teneurs des gluténines totales et les différents paramètres technologiques.

Les protéines polymériques (formées par les SG-HPM et les SG-FPM) jouent un rôle important dans les différences de qualité boulangère (**WANG** *et al.*, 2007).

Les sous unités de gluténines à hauts et à faible poids moléculaires (SG-HPM et SG-FPM respectivement) sont les principaux facteurs qui déterminent les propriétés viscoélastiques de la pâte (**FIGUEROA** *et al.*, 2009).

Les gluténines sont les composants qui influent le plus sur le W et P/L, spécialement les sous unités de gluténines à haut poids moléculaire et en particulier celles du type X. Ces protéines semblent augmenter le W alvéographique et sont les principales composantes du réseau du gluten (**PENA** *et al.*, 2005).

Les SG-HPM jouent un rôle important dans la détermination des propriétés fonctionnelle de la pâte (**LEON** *et al.*, 2010).

Les propriétés favorables de la pâte de certains cultivars de blé dur ont été associés à la présence de SG-FPM dite FPM-2 (**PAYNE** *et al.*, 1982; **MASCI** *et al.*, 2000) ainsi qu'avec certains SG-HPM codées au niveau du locus Glu-B1 (**POGNA** *et al.*, 1990 ; **PEÑA** *et al.*, 1994; **FLAGELLA**, 2006).

PANOZZO et **EAGLES** (2000) ont trouvé que la proportion de gluténines dans les protéines de la semoule était fortement dépendante de la variété. En outre, **ZHU** et **KHAN** (1999) ont constaté que les meilleurs cultivars de blé panifiables ont été caractérisés par une forte teneur en gluténines avec une plus grande proportion de SG-HPM.

UTHAYAKUMARAN *et al.*, (2002) ont observé une forte corrélation entre la variation de la structure et les teneurs relatives de HPM et la force de la pâte. L'extensibilité de la pâte est affectée quand une modification de la composition de gluténines FPM et de gliadines se produit. Une faible pâte est obtenue lorsque certaines des sous-unités sont absentes.

Selon **EDWARDS** *et al.*, (2007), un réseau bien développé pour le blé dur doit préférentiellement impliquer les SG-HPM plus que les SG-FPM. Ils ont aussi trouvé des corrélations positives et significatives entre les protéines polymériques insolubles dans le SDS et les paramètres du mixographe et de l'alvéographe.

5.3 Interactions entre les différentes fractions protéiques

POMERANZ (1982), a rapporté que les propriétés viscoélastiques d'une pâte qui gouvernent la qualité boulangère résultent non seulement de l'interaction des polymères de gluténines mais également de l'interaction des gluténines avec les gliadines monomérique.

La qualité du blé est déterminée par les rapports protéines monomériques / protéines polymériques, SG-HPM / SG-FPM, gluténines / gliadines. (**SUCHY** *et al.*, 2003 ; **UTHAYAKUMARAN** *et al.*, 1999 ; **UTHAYAKUMARAN** et **LUKOW**, 2005).

PENA *et al.*, (2005) trouvent des corrélations négatives entre la force W et les ratios gliadines/gluténines.

Les travaux de **WASIK** et **BUSHUK**, (1975) ; **DEXTER** et **MATUOSO**, (1978) rapportent des corrélations élevées entre le rapport gluténine/gliadine et la force de la

pâte. L'introduction du génome D (HPM-GS 5+10) dans le blé dur augmente la force de la pâte et le ratio gluténine/gliadine (**LIU** et *al.*, 1994 ; **LAFIANDRA** et *al.*, 2000).

PARK et *al.*, (2006) ont suggéré qu'un rapport optimum de gluténines / gliadines est nécessaire pour le volume du pain mais ce rapport varie avec les changements de la distribution en taille moléculaire des gluténines.

WANG et *al.*, (2007) ont montré dans leur étude que le ratio protéines polymériques/ protéines monomériques est hautement corrélé au volume du pain. Cette information peut être utilisée comme outil dans la prédiction de la qualité d'un blé dans les programmes de sélection.

Les SG-HPM et le ratio gliadines/gluténines sont reconnus comme le déterminant majeur des propriétés de gluten et celles de la pâte (**DUTTA** et *al.*, 2011).

EDWARDS et *al.*, (2007) ont trouvé sur des génotypes possédant différentes forces, une faible corrélation entre le rapport gluténines/gliadines et la résistance de la pâte

VI. FRACTIONNEMENT DES PROTEINES DE LA SEMOULE BLE DUR

Pour une détermination précise de la composition protéique de la semoule, il est souhaitable de séparer et quantifier les protéines par type. Idéalement, le procédé de fractionnement devrait être simple, adapté à de petits échantillons de semoule, permettre une recouvrance maximale des différents types protéiques avec un minimum de chevauchement entre les fractions. Cependant la complexité des protéines et la difficulté que présentent leur séparation et leur quantification font de l'évaluation de leur rôle dans la qualité de la semoule ainsi que la comparaison des différents échantillons une tâche difficile (**FERREIRA** et *al.*, 2012).

FU et **SAPIRSTEIN** (1996) ; **SAPIRSTEIN** et **FU** (1998) ont utilisé le propanol-1 à 50% pour extraire toutes les protéines monomériques mais ce solvant extrait également quelques gluténines. Afin de séparer les gluténines solubles des gliadines, **FU** et **SAPIRSTEIN** (1996) précipitent ces gluténines en augmentant la concentration du

propanol-1 à 70% mais cela précipite aussi les ω -gliadines. Les gluténines insolubles contenues dans le résidu insoluble dans le propanol-1 à 50% sont extraites en utilisant le propanol-1 à 50% contenant 1% de dithiothréitol à 60 °C (**SAPIRSTEIN** et **FU**,1998).

Le mélange de propanol-1 à 40% avec ou sans un agent réducteur est plus efficace que le propanol-1 à 50% pour l'extraction des gluténines solubles et insolubles (**WANG** et *al.*, 1998).

SAPIRSTEIN et **JOHNSON** (2000) ont utilisé le propanol 1 à 50% et le propanol 1 à 50% contenant 0,1% dithiothréitol suivie d'une centrifugation pour séparer les protéines monomériques (principalement gliadines), les gluténines insolubles (GI) et le résidu protéique.

WANG et **KOVACS** (2002 a) ont utilisé la méthode de **FU** et **KOVACS** (1999) afin d'éliminer les protéines monomériques, puis ont utilisé le propanol-1 à 40% pour extraire les gluténines solubles et enfin le propanol-1 à 40% plus 0,2% de Dithiothreitol (DTT) à 60 °C pour extraire les gluténines insolubles.

MARCHYLO et *al.*, (1989) ont séparé les gliadines des gluténines en utilisant le propanol-1 à 50% à une température de 60°C en répétant l'opération deux fois de suite. Les sous unités de gluténines sont par la suite extraites à partir du culot avec le même solvant contenant 1% de dithiothreitol (DTT), puis les sous unités de gluténines HPM sont précipités en augmentant la concentration du propanol-1 à 60%.

MELAS et *al.*, (1994) proposent une méthode basée sur la précipitation sélective dans l'acétone, les gliadines sont d'abord extraite en utilisant le propanol-2 à 50% ensuite les sous unités de gluténines sont solubilisées à l'aide du propanol-2 à 50%+ 0,08 M Tris-HCl (pH=8) + 1% de dithioerythritol (DTT) à 60°C. Les sous-unités de gluténines HPM sont alors précipités par une solution d'acétone à 40% ; la concentration en acétone dans le surnageant est augmentée à 80% pour précipiter les sous-unités de gluténines FPM.

WANG et *al.*, (2007) ont associé trois méthodes de fractionnement des protéines ; ils ont utilisé le 0.3M NaI + propanol-1 à 7,5% pour séparer les protéines monomériques

des protéines polymériques (**FU** et **KOVACS**, 1999), puis ils ont précipité les gliadines du surnageant avec du 0.1M acétate d'ammonium dans 100 % méthanol pendant 48h à froid (-20°C) (**DUPONT et al.**, 2005). Les protéines polymériques contenues dans le culot après extraction des protéines monomériques ont été extraites avec le propanol-1 à 50% + 1% DTT (**SAPIRSTEIN** et **FU**, 1998), après centrifugation le surnageant obtenu est additionné d'acétone à une concentration de 40 % pour précipiter les sous unités de gluténines HPM, puis la concentration en acétone est ramenée à 80 % pour précipiter les sous unités de gluténines FPM (**MELAS et al.**, 1994).

Matériel et méthodes

I. MATERIEL VEGETAL

Les 9 échantillons sur lesquels a porté l'étude sont représentés par :

- 3 variétés de blé dur : **Boussallem**, **Waha** et **GTA Dur** issues de la récolte 2011 et proviennent de la station expérimentale de l'ITGC (Institut Technique des Grandes Cultures) de Sétif.
- 2 variétés de blé dur : **GTA Dur** et **Chen's** issues de la récolte 2011 et proviennent de la station expérimentale de l'ITGC d'Oued Smar (Alger).
- Une variété de blé dur **Vitron** provenant de la ferme « Eriad » située dans la wilaya de Ouargla et récoltée en 2012.
- 2 blés industriels fournis par les unités « **Eriad** » de **Baghlia** (Tizi Ouzou) et de **Touggourt** (Ouargla).
- Une semoule commerciale provenant de l'unité « **Eriad** » de **Touggourt**.

II. PARAMETRES PHYSIQUES DES GRAINS

2.1 Poids de milles grains (PMG):

La détermination du poids de 1000 grains est réalisée selon la norme **NF V 03-702**. C'est la masse (en grammes) de 1000 grains entiers comptés à l'aide d'un compteur de grains Numigral.

2.2 Vitrosité et taux de mitadinage :

La vitrosité des grains a été déterminée par une inspection visuelle des grains ayant une masse de 20 g et prélevés aléatoirement d'un lot de blé à analyser (Méthode standard **ICC n° 129**). Les grains sont désignés comme mitadinés si l'endosperme montre une tâche opaque (blanchâtre).

2.3 Taux de moucheture :

On détermine le poids de grains mouchetés présents dans 20 grammes de grains propres : l'appréciation de la moucheture est visuelle. Seuls sont considérés comme mouchetés les grains qui présentent à d'autres endroits que sur le germe des colorations situées entre le brun et le noir brunâtre (Méthode **BIPEA**, norme **ISO 7970**).

Les résultats sont exprimés en grammes de grains mouchetés pour 100 grammes d'échantillon.

III. METHODES ANALYTIQUES

3.1 Préparation des blés :

Après réception, les échantillons sont nettoyés manuellement de leurs impuretés et leur humidité est déterminée sur une prise d'essai de 5 g obtenue par broyage grossier. Pour faciliter la séparation de l'amande vitreuse des enveloppes, l'humidité des grains est ramenée graduellement à 17% par l'ajout d'un certain volume d'eau calculé selon la formule suivante :

$$V = M \frac{H_f - H_i}{100 - H_f}$$

V : volume d'eau à ajouter (ml).

M : masse de la prise d'essai (g).

H_f : humidité finale du blé (17%).

H_i : humidité initiale du blé.

Le blé est ensuite conditionné dans des récipients étanches, une agitation pendant une heure assure une diffusion homogène de l'eau dans la masse de grains. Le blé est laissé au repos 48h à température ambiante.

3.2 Mouture des blés :

La mouture a pour but de séparer l'amande vitreuse du grain de blé de ses enveloppes pour la transformer en semoule. Elle a été réalisée au laboratoire de rhéologie au niveau de l'OAIC (Office Algérien Interprofessionnel des Céréales) sur un moulin expérimental type « **Brabender Quadrumat Junior** ».

Après la mouture, la semoule récupérée est conservée à 4° C dans des sachets plastiques étanches pour limiter les modifications de sa composition biochimique et ses paramètres technologiques.



Figure 6 : Moulin Brabender

3.3 Coloration de la semoule :

La couleur est l'un des principaux facteurs qui influencent la qualité du blé dur et le choix du consommateur. La couleur jaune ambré des produits finaux, semoule et les pâtes, est principalement due aux pigments caroténoïdes et aux activités enzymatiques responsables de leur dégradation oxydative.

La couleur de la semoule de blé dur est évaluée au moyen d'un colorimètre Minolta de modèle CR-410 muni d'un illuminant D65. La couleur est évaluée en fonction de sa clarté ou luminance (L^*), de la chromaticité rouge-verte (a^*) et de la chromaticité jaune-bleue (b^*), lesquelles correspondent à l'espace CIE (1976). Les écarts de taille des particules ont une incidence considérable sur les valeurs colorimétriques. On se sert d'échantillons de semoule présentant une distribution granulométrique semblable à des fins de comparaison.

Les échelles de classement des échantillons selon **HOULIAROPOULOS** et *al.*, (1981) sont comme suit (Tableau 7) :

Tableau 7 : Echelles de classement des composantes de coloration des semoules

Indice de jaune (b)	Indice de brun (100-L)
élevé > 35	élevé > 21
moyen 28-35	moyen 18-21
faible < 28	faible < 18

HOULIAROPOULOS *et al.*, (1981)

3.4 Analyse granulométrique ou taux d'affleurement (NF : 03-721 de juin 1994)

Elle est déterminée à l'aide d'un planschister de laboratoire BHULER, par tamisage d'un échantillon de 100 g de semoule à travers une série de tamis avec une ouverture de mailles décroissantes, ensuite les refus de chaque tamis sont pesés.

Ouverture des mailles des tamis utilisés :

- Pour la semoule : 500 µm, 450 µm, 315 µm, 200µm, 140µm.

Les refus obtenus sont pesés et les résultats sont exprimés en pourcentage.

$$TA(\%) = \frac{m_0}{m_1} \times 100$$

- m_0 : masse du refus (g) ;

- m_1 : masse de l'échantillon (g).

L'analyse granulométrique nous permet de déterminer le diamètre équivalent moyen (D50) et le paramètre de dispersion ou écart type géométrique ($Sg = D84/D50 = D50/D16$) représentatif de l'homogénéité des échantillons.

L'expression des résultats pour chaque tamis en pourcentage cumulé de la masse totale récupérée :

- ✓ D50 : Diamètre équivalent moyen (µm) à 50% de probabilité.
- ✓ Sg : Ecart type géométrique des particules à 50% de probabilité.
- ✓ D84 : Diamètre des particules à 84% de probabilité.
- ✓ D16 : Diamètre des particules à 16% de probabilité.



Figure 7 : Planschister de laboratoire BHULER

IV. ANALYSES INDIRECTES D'APPRECIATION DE LA VALEUR BOULANGERE

4.1 Tests technologiques :

4.1.1 Test de sédimentation SDS :

Le gonflement des protéines dans un milieu SDS (sodium-dodecyl sulfate), nous renseigne sur la qualité des protéines du gluten, il permet d'avoir une idée sur l'élasticité et la ténacité du gluten.

Ce test a été effectué selon la méthode (NF V03-704, ISO 5529) décrite par **AXFORD** *et al.* (1978) modifiée par **KOVACS** (1985).

↳ **Mode opératoire** (Fig. 8):

5 g de semoule sont mis en suspension avec 50 ml d'eau distillée dans une éprouvette graduée de 100 ml et bouchée. Le mélange est agité brutalement pendant 15 secondes puis laisser au repos pendant 12 minutes. Après ce temps d'hydratation la suspension est encore agitée pendant 15 secondes et 50 ml d'une solution SDS 3% contenant 0.8% d'acide lactique sont additionnés. A partir de cet ajout, on effectue 4

inversions lentes pour disperser l'échantillon hydraté. L'éprouvette est laissée au repos pendant 20 min. Le volume de sédimentation est lu directement sur l'éprouvette graduée et les résultats sont exprimés en ml. Deux essais ont été réalisés pour chaque échantillon.

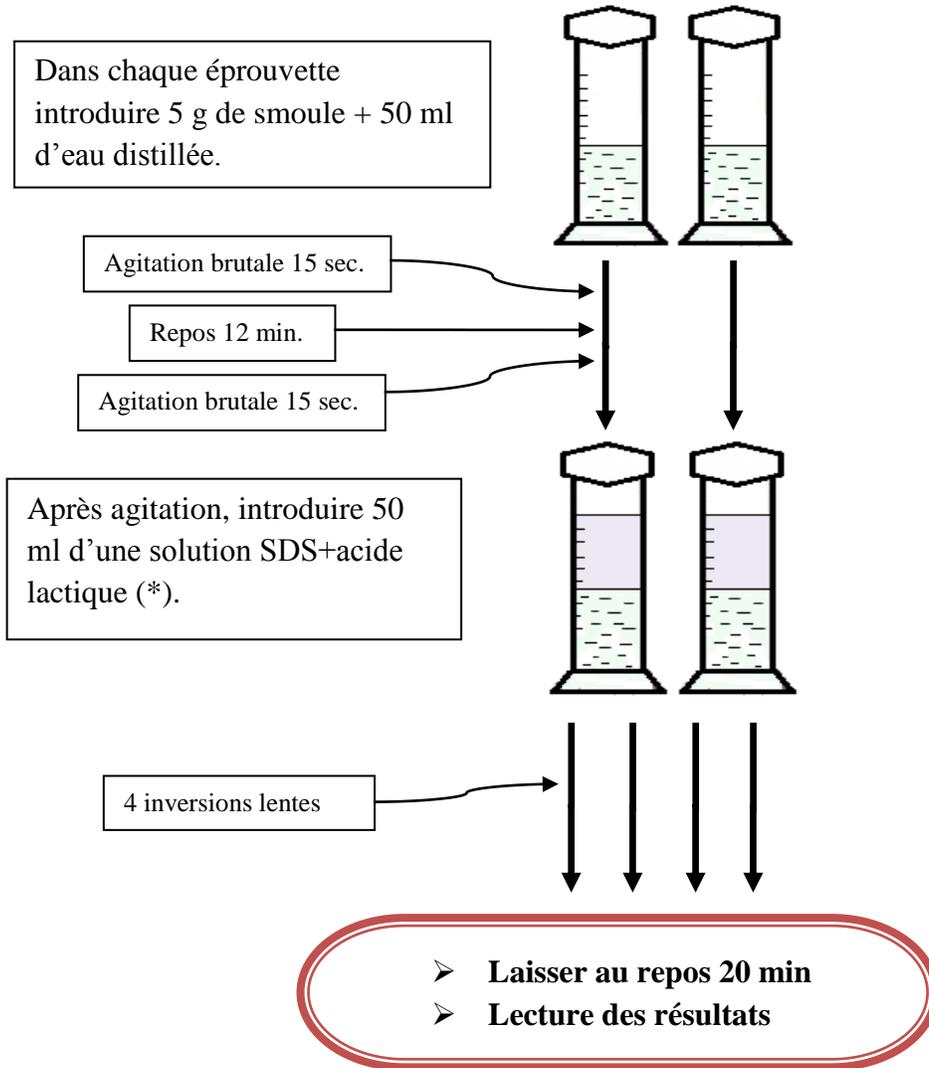


Figure 8: Schéma du test de sédimentation en milieu SDS d'après KOVACS (1985).

Selon (WILLIAMS *et al.*, 1988) sur le blé tendre, on peut classer les blés à partir de leur volume de sédimentation comme suit :

- ✓ Volume de sédimentation >80ml : Potentiel boulanger exceptionnel fort
- ✓ Volume de sédimentation compris entre 70 et 79 ml : Potentiel boulanger très fort
- ✓ Volume de sédimentation compris entre 60 et 69 ml : Potentiel boulanger fort.
- ✓ Volume de sédimentation compris entre 50 et 59 ml : Potentiel boulanger de force moyenne
- ✓ Volume de sédimentation compris entre 40 et 49 ml : Potentiel boulanger proche faible
- ✓ Volume de sédimentation compris entre 30 et 39 ml : Potentiel boulanger faible
- ✓ Volume de sédimentation compris entre 20 et 29 ml : Potentiel boulanger très faible
- ✓ Volume de sédimentation <20 ml : Potentiel boulanger exceptionnel faible.

4.1.2 Détermination de la teneur en gluten sec, gluten humide et la capacité d'hydratation du blé dur

Cette mesure permet d'apprécier la quantité de gluten. La détermination de la teneur en gluten est effectuée selon la norme (NA. 735.1991, ISO 5531).

L'extraction du gluten a été faite manuellement par lavage avec une solution de chlorure de sodium (20g/l de NaCl) d'un pâton préparé au moyen de 10 g de semoule et de 5.5 ml de la même solution.

Après lavage, la masse obtenue est essorée (gluten humide), pesée, puis séchée à l'étuve réglée à 130 °C pendant 2 h et ensuite repesée (gluten sec). La teneur en gluten sec sera exprimée en pourcentage de la matière sèche.

$$\text{GH (\%)} = \frac{m1}{10} \times 100$$

$$\text{GS (\%)} = \frac{m2}{10} \times 100$$

$$\text{GS (\% MS)} = \text{GS} \times 100 / (100 - \text{H})$$

m_1 : Masse en g du gluten humide (%MH).

m_2 : Masse en g du gluten sec (%MS).

H : pourcentage d'humidité.

La capacité d'hydratation nous renseigne sur la capacité du gluten à retenir l'eau. Elle est calculée selon la formule suivante :

$$CH = \frac{GH - GS}{GH} \times 100$$

CH : Capacité d'hydratation

GH : gluten humide en % MH

GS : gluten sec en % MS

4.1.3 Essai au mixographe

Le Mixographe (fig. 9) est un appareil qui donne une idée très précise sur la capacité de la farine (ou de la semoule) à résister à l'opération de pétrissage et détermine le temps optimum de malaxage.



Figure 9: Mixographe

✓ **Mode opératoire**

Ce test a été effectué selon la norme AACCC : 54-40 A (1983).

Un échantillon de 35 g de semoule est placé dans le bol du Mixographe puis il est hydraté en fonction de la teneur en protéines sur la base de 14 % d'humidité (Le tableau de correspondance entre la teneur en protéines et la quantité d'eau à ajouter est donné dans l'annexe 1) puis soumis au pétrissage.

Le pétrissage s'effectue pendant 8 minutes, l'action de brassage est assurée par quatre broches supérieures, animées d'un mouvement rotatoire autour de trois broches verticales fixées sur le fond du bol.

Au fur et à mesure de la formation de la pâte, le Mixographe enregistre le mixogramme (fig. 10) à l'aide d'un traceur posé sur la feuille d'enregistrement (Les mixogrammes des semoules étudiées sont donnés dans l'annexe 2). Parmi les paramètres qui peuvent être lus, on va s'intéresser à 3 paramètres qui sont :

- ✓ temps de développement de la pâte exprimé en minutes, qui caractérise la force de la pâte;
- ✓ hauteur de la courbe au pic maximum donnée en % qui correspond à la viscosité de la pâte;
- ✓ l'affaiblissement ou la tolérance au pétrissage qui est la différence entre la hauteur de la courbe au pic maximum et la hauteur de la courbe après 8 mn de pétrissage exprimé en % ;

La représentation de ces paramètres est donnée sur le mixogramme (fig. 10).

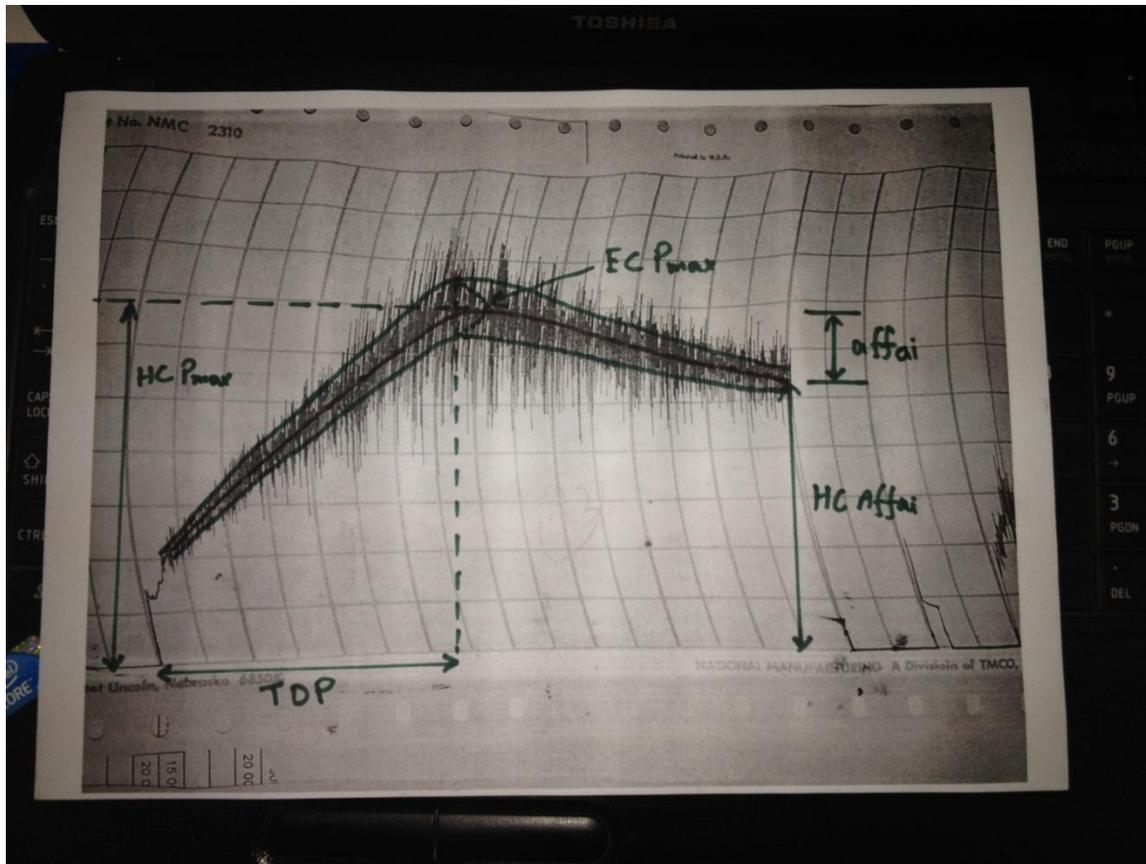


Figure 10 : Mixogramme d'un génotype de blé dur algérien.

TDP : Temps de pétrissage

EC Pmax : Epaisseur du pic au temps maximum

Affai : L'affaiblissement

HC Pmax : La hauteur de la courbe au pic maximum

HC Affai: hauteur de la courbe à l'affaiblissement

Selon **WILLIAMS** et *al.*, (1988), ces paramètres permettent de classer les blés en fonction de leur force selon le «grading» donné dans le tableau 8 :

Tableau 8: Classement des blés en fonction des paramètres du mixogramme

Temps du développement de la pâte (en min)	Hauteur de la courbe au pic maximum (en %)	Affaiblissement (tolérance au pétrissage) (en %)	Force
4,5-6 et plus	70 et plus	0-5	Très bonne
3,4 – 4,4	60-69	5-10	Bonne
2,5 – 3,3	50-59	10-25	Moyenne
1,5 – 2,4	40-49	25-40	Faible
0-1,4	Au dessous de 40	Au dessus de 40	Très faible

WILLIAMS et al., (1988)

4.1.4 Essai à l'alvéographe CHOPIN :

L'essai alvéographique de la semoule de blé dur a été réalisé selon le protocole de Barilla modifié (**CHOPIN, 2007**).

L'alvéographe Chopin se compose de :

- Un pétrin muni d'un passage d'extraction qui permet la formation de la pâte et l'extraction de celle-ci pour la préparation des pâtons en vue du test alvéographique.
- L'alvéographe proprement dit : pour la déformation des éprouvettes de pâtes.
- Appareil enregistreur : qui mesure la pression interne dans la bulle de la pâte en fonction de sa résistance à la déformation

L'essai consiste à réaliser une extension tridimensionnelle d'une éprouvette de pâte formée avec de la semoule et de l'eau salée (25 g/l), par insufflation de l'air à débit constant, et à mesurer en fonction du temps l'évolution de la pression d'air jusqu'à rupture de la bulle de pâte.

L'essai à l'alvéographe simule l'expansion des alvéoles qui se forment durant la fermentation, ainsi ses paramètres nous informent sur le comportement de la pâte durant cette étape (LEON *et al.*, 2010).

Le graphique $P=f(t)$ est une courbe moyenne de cinq tracés distincts (les alvéogrammes des semoules étudiées sont donnés dans l'annexe 3), interprété à l'aide des paramètres suivants (Fig. 11):

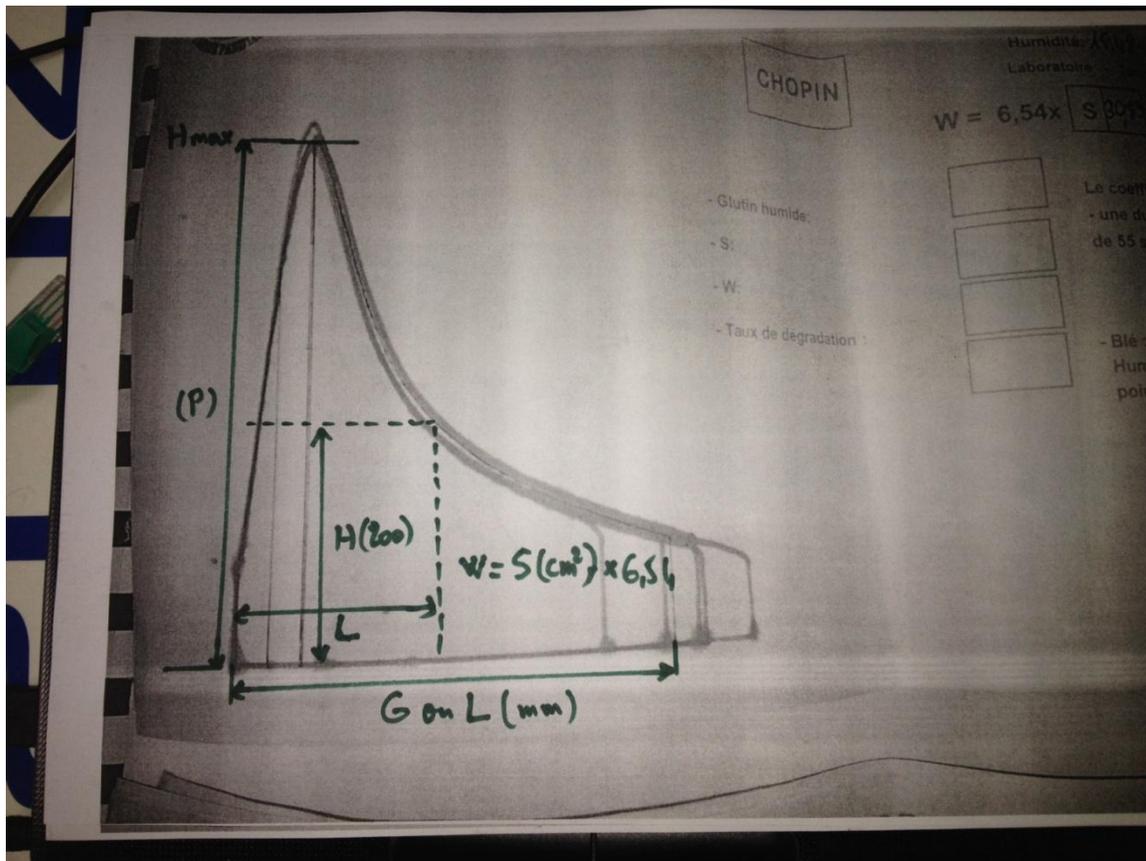


Figure 11 : Courbes alvéographiques d'un génotype de blé dur algérien.

- ❖ **P (mm)** : **ténacité** de la pâte, c'est la pression maximale nécessaire à la déformation de la pâte.
- ❖ **L (mm)**: **extensibilité** de la pâte, correspond à la longueur de la courbe jusqu'à la rupture.

- ❖ **G** (cm³): **indice de gonflement** ou plus simplement **gonflement** de la pâte, il peut être obtenu par la formule suivante: $G = 2,226 \times L^{1/2}$.

MAUZE *et al.*, (1972) ont rapporté les caractéristiques suivantes:

G de 21 à 24 : bon gonflement ;

G > 23: caractère améliorant.

- ❖ **W** (10⁻⁴ joules): **force boulangère**, dérive du mot anglais « Work », correspond à l'énergie nécessaire au gonflement de la bulle jusqu'au moment de sa rupture. Sa valeur est proportionnelle à la surface sous la courbe obtenue.

W = Surface interne du diagramme moyen x 6,54.

- ❖ **P/L**: C'est le **rapport de configuration**, Il traduit l'équilibre ou le déséquilibre entre la ténacité et l'extensibilité de la pâte.
- ❖ **Ie** : **indice d'élasticité**, se calcule par la formule: $P_{200} / P \times 100$ (P_{200} se définit comme étant la pression à G = 14,0 ou L = 40mm, P étant la pression maximale), cet indice met en évidence les variations de chute de la courbe (courbe plus ou moins creuse).

Pour **BERLAND** et **ROUSSEL** (2005), des valeurs d' **Ie**

- Moins de 35 : insuffisant

- De 35 à 45 : moyen

- De 45 à 55 : bon

- Plus de 55 : élevé

Selon **GODON** et **LOISEL** (1997), les paramètres de l'alvéographe intègrent des phénomènes physicochimiques complexes associés à l'eau, à la granulométrie des particules de farines, à l'amidon endommagé, à la quantité et la nature des principaux constituants du grain (protéines, glucides, lipides) et aux protéases.

- Les valeurs caractéristiques moyennes pour la panification du blé tendre selon la norme I.S.O. 5530/04 sont (tableau 9):

Tableau 9 : Valeurs caractéristiques moyennes pour la panification du blé tendre
(applicable pour le blé dur)

Blé	caractéristiques
Type boulangerie	W = 130 - 180 G = 20 - 23 P/L = 0,45 - 0,65
Améliorant	W = 180 - 250 P/L = 0,45 - 0,65
De force	W > 250
Impanifiable	W < 130
Panifiable courant	W = 130-250 P/L non équilibré

I.S.O. 5530/04

V.ANALYSES BIOCHIMIQUES

5.1 La teneur en eau:

La teneur en eau a été déterminée selon la norme **NA 1132-1990, ISO 712** à partir d'une prise d'essai de 5g de semoule (ou de mouture entière), ceci par différence de poids de produit frais et après passage dans une étuve pendant 2 heures à une température de 130° C pour les moutures entières et 1h30 min pour les semoules.

5.2 La teneur en cendres ou matières minérales :

Les cendres totales sont obtenues selon la norme **AFNOR N.F. V03-720** de décembre 1981 (**AFNOR**, 1991). Les matières minérales sont obtenues par calcination complète des prises d'essais dans un four à moufle à $900 \pm 25^\circ\text{C}$.

Le taux de cendres totales (CT) est calculé par la formule suivante :

$$CT = \frac{P_1}{P_0} \times 100$$

Où : P_0 : Masse de la prise d'essai avant incinération ; P_1 : Masse de la prise d'essai après incinération.

Les cendres sont exprimées en grammes pour 100 g de produit sec :

$$C (\% MS) = \frac{CT}{(100 - H)} \times 100$$

Où : CT : cendres totales ; H : humidité.

5.3 Teneur en protéines totales

La teneur en protéines est déterminée par dosage de l'azote total par la méthode de Kjeldahl selon la norme algérienne (**NA 1185-1990, ISO1871**), le coefficient de conversion de l'azote en protéines est de 5,7 pour le blé. Les teneurs sont exprimées en pourcentage de la matière sèche.

5.4 Séparation séquentielle et dosage des différentes fractions protéiques sur semoule

L'extraction et la séparation des fractions protéiques ont été réalisées suivant le protocole de **WEISER et al.**, (1998) (Fig. 12)

100 mg de semoule sont extraits deux fois avec 1 ml d'une solution A, par agitation de 2 min au vortex suivie d'une agitation magnétique et centrifugation à $6000 \times G$ pendant 15 min à température ambiante. Après chaque extraction les surnageants sont récupérés et mélangés soit S1 et S2.

MATERIEL ET METHODES ANALYTIQUES

Chaque surnageant a été divisé en deux parties qui ont servi pour doser directement les albumines et globulines par Turbidimétrie. Le culot C2 est utilisé pour extraire les gliadines et les gluténines.

Le culot C2 est extrait trois fois avec 0.5 ml d'une solution B, par agitation de 2 min au vortex et une agitation magnétique, chaque extraction est suivie d'une centrifugation à 6000xG pendant 20 min à température ambiante. Les surnageants S3, S4, S5 sont additionnés et représentent les gliadines dosées par Turbidimétrie. Le culot C5 sert pour le dosage des gluténines.

Le culot C5 est extrait deux fois avec 1 ml d'une solution C sous un filet d'azote pour éviter l'oxydation des gluténines. Chaque extraction est initiée par agitation de 2 min au vortex et une agitation magnétique, suivie d'une centrifugation à 6000G pendant 20 min à température ambiante. Les surnageants S6, S7, S8 sont additionnés et représentent les gluténines dosées par Turbidimétrie.

Le culot C8 constitue le résidu insoluble dont la teneur est déterminée par différence entre les différentes fractions protéiques obtenues.

Le dosage de différentes fractions protéiques est effectué par le spectrophotomètre UV à une longueur d'onde de 450nm. Cette méthode spectrophotométrique est basée sur divers caractéristiques spectrales et réactionnelles des acides aminés constituant les protéines à doser. La courbe d'étalonnage obtenue par spectrophotométrie nous permet de déterminer les teneurs en protéines (Annexe 4).

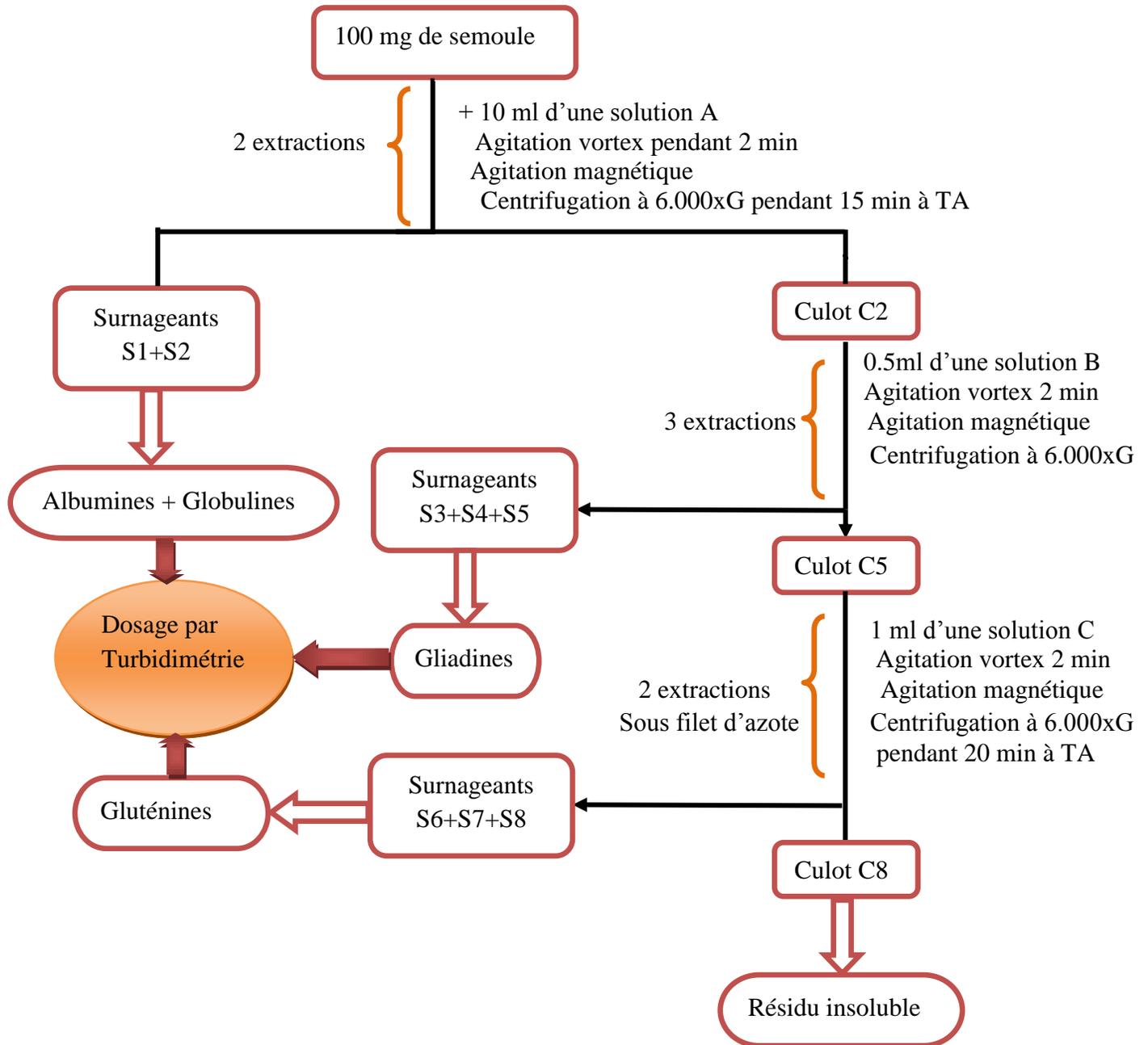


Figure 12: Procédé de fractionnement séquentiel des protéines suivant le protocole de **WEISER et al.**, (1998).

Solution A: 0,4 mol/l NaCl + 0.067 mol/l HKNaPO₄.

Solution B: Ethanol 60%

Solution C: Propanol-1 50% + 20ml urée + 0,05 mol/l tris HCl (Ph=7,5) + DTE 1%

5.5 Teneur en amidon total et en amidon endommagé:

La teneur en amidon endommagé constitue un critère de plus en plus répandu d'appréciation de la qualité des semoules. Deux grands types de méthodes existent actuellement pour quantifier l'endommagement de l'amidon : les méthodes enzymatiques (Megazyme, Farrand, Audidier ...) et les méthodes ampérométriques (SDmatic).

Les teneurs en amidon endommagé des semoules et en amidon total des semoules ont été estimées à l'aide de kit « **Megazyme** » (Megazyme International Ireland Ltd., Ireland) respectivement selon les méthodes n°**76- 31** et n°**73-13 (AACC 2000)**. (Annexe 5).

Les résultats sont les valeurs moyennes de deux essais exprimées en % de matière sèche de l'échantillon (% M.S).

VI. ANALYSES STATISTIQUES

L'étude statistique a porté sur la détermination des coefficients de corrélation linéaires de **PEARSON**(r) à l'aide du logiciel SPSS.

Résultats et discussions

I. ANALYSES PHYSICOCHEMIQUES

1.1. Paramètres physiques des grains de blé dur

Les principales caractéristiques physiques des échantillons de grains de blé dur fournis sont regroupées dans le tableau 10.

Tableau 10 : Caractéristiques physiques des blés durs

Variété	PMG (g)	Vitrosité (%)	Moucheture (%)
Gta dur BBA	39,52	91,37	4.23
Boussallem BBA	50,04	95,33	2.61
Waha BBA	47,81	59,83	2.15
Gta dur Alger	44,98	90,35	3.13
Chen's Alger	35,99	91,89	2.95
Vitron Eriad	44,72	90,96	1.42
BI Tougourt	38,92	88,93	2.35
BI Baghlia	43,49	77,83	7.65
Moyenne	43,18	85,81	3.31
Ecart type	4,74	11,67	1.93

1.1.1 Poids de mille grains :

Les poids de mille grains des génotypes étudiés varient de 35,99 g (Chen's Alger) à 50,04 g (Boussallem) avec une moyenne de 43,18 g et un écart type de 4,74 (fig. 13). Ces valeurs sont supérieures à la moyenne (35g) donnée par **ZELNY** (1978).

Le poids de mille grains est une caractéristique variétale relié directement à la taille du grain et qui dépend aussi des conditions de culture (**DON et al.**, 2003).

La taille des grains est un facteur important de la valeur semoulière des blés durs. Les variétés à gros grains sont très appréciées car elles donnent généralement des meilleurs rendements en semoules que celles à grainspetits (**MATSUO et DEXTER**, 1980b ; **LEMPEREUR et al.**, 1997).

En se référant à la classification de **GODON et WILLM** (1991) qui ont estimé la taille des blés en fonction de leur PMG en 3 classes : petits (24<PMG<34), moyens (35<PMG<45) et gros (46<PMG<56), on peut dire que nos variétés sont des variétés à grains moyens à l'exception des variétés **Boussallem** et **Waha** qui sont des variétés à

gros grains. Ces résultats se rapprochent de ceux rapportés par **RAO** (2008) et **OHM et al.**, (2010) qui ont trouvé des valeurs comprises entre 37.4 - 45.2 g et 42,1 - 51,7 g respectivement.

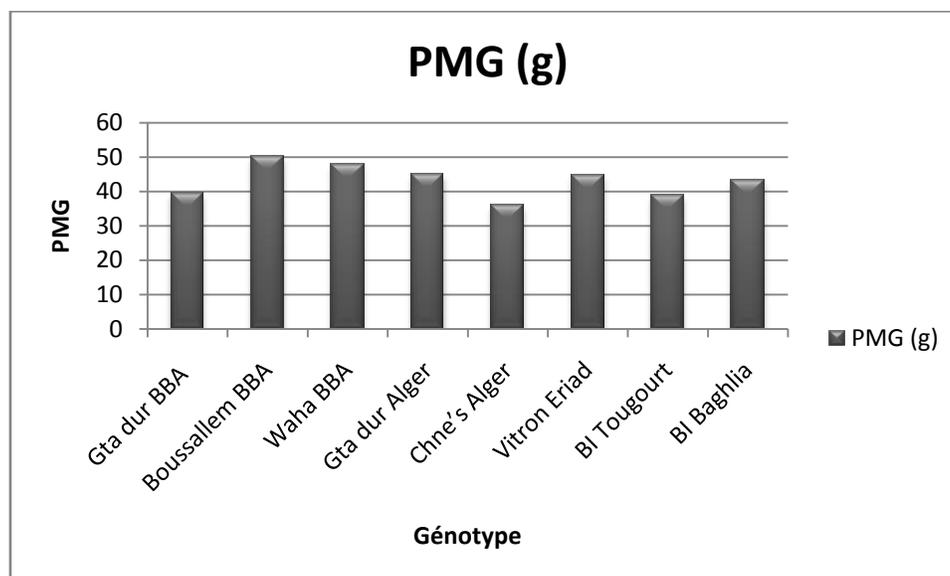


Figure 13 : Poids de mille grains des variétés de blé dur

1.1.2 Vitrosité

La structure vitreuse du grain de blé dur est un paramètre déterminant pour sa valeur d'utilisation. L'existence des parties farineuses dans l'albumen des grains mitadinés affecte la valeur semoulière en diminuant le rendement en semoule, d'où le refus de blé dur présentant un taux de mitadinage supérieur à 50% (**GODON** et **WILLM**, 1991).

Le pourcentage de grains vitreux est élevé pour l'ensemble des géotypes à l'exception du géotype **Waha** qui a présenté un taux relativement faible et par conséquent elle dépasse la norme algérienne qui tolère un taux de mitadinage de 35% au maximum. Les valeurs du taux de vitrosité se situent entre 59.83% (Waha BBA) et 95.33% (Boussallem BBA) avec une moyenne de 85.81% et un écart type de 11.67 (fig. 14). Ces résultats corroborent ceux rapportés par **OHM et al.**, (2010) qui ont trouvé des valeurs comprises entre 77.30 et 85.2 %.

RESULTATS ET DISCUSSIONS

La vitrosité de l'albumen est fortement liée à la teneur en protéines de grain donc à la nutrition azotée de la culture, si au cours du remplissage du grain, la matière protéique se trouve en quantité suffisante, l'albumen prendra un aspect vitreux (SAMSON *et al.*, 2005). En revanche la carence protéique conduit à la formation de nombreuses vacuoles d'air au sein de l'albumen, lui conférant une apparence opaque ou farineuse (MATVEEF, 1966).

La variété est un élément de gestion de risque de mitadinage mais l'influence du climat et de l'azote étant très forte (GATE, 1996).

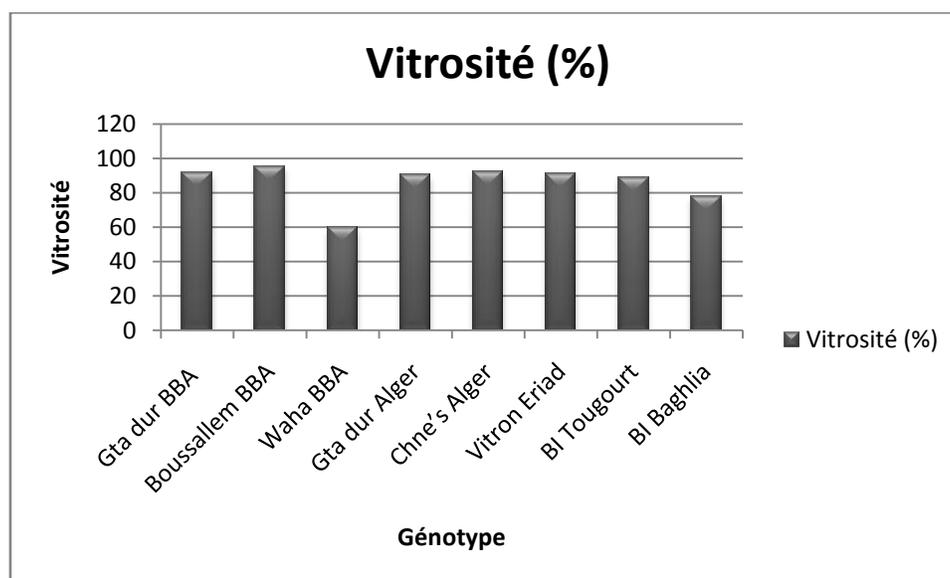


Figure 14: Taux de vitrosité des variétés de blé dur

1.1.3 Degré de moucheture

La moucheture du grain, tache brune du péricarpe causée par des champignons, se traduit par la présence de points noirs dans les semoules qui diminuent leur qualité commerciale : on la souhaite aussi faible que possible.

Pour l'ensemble des génotypes étudiés les degrés de mouchetures des grains varient entre 1.42% (Vitron Eriad) et 7.65% (BI Baghlia) avec une moyenne de 3.31% et un écart type de 1.93 (fig. 15).

RESULTATS ET DISCUSSIONS

Ce paramètre est lié essentiellement à la variété et favorisé par les conditions de culture et de récolte (MOREL *et al.*, 2000).

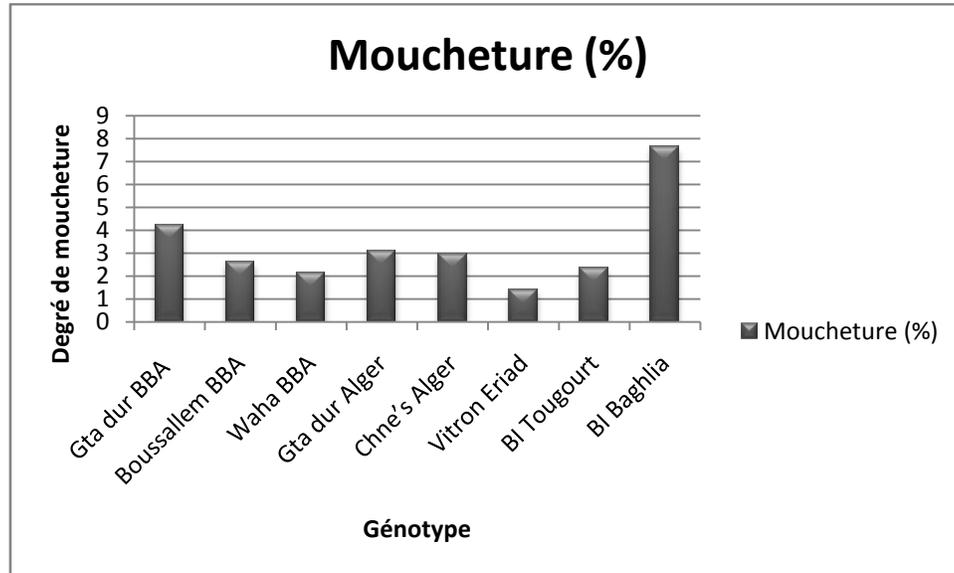


Figure 15: Degré de moucheture des variétés de blé dur

1.2 Les humidités

Les résultats des humidités des grains et des farines sont rassemblés dans le tableau 11.

Tableau 11: Humidités des grains et des semoules de blé dur

Génotypes	Humidité des grains (%MH)	Humidité des semoules (%MH)
Gta dur BBA	11.26	15.87
Boussallem BBA	11.83	15.6
Waha BBA	11.54	15.46
Gta dur Alger	13	14.97
Chen's Alger	13.65	15.37
Vitron Eriad	10.11	16.17
BI Tougourt	11.49	16.19
BI Baghlia	13.36	14.75
Semoule Eriad	-----	13.81
Moyenne	12.03	15.35
Ecart type	1.2	0.76

1.2.1 Humidité des grains

C'est un paramètre très important pour la détermination de la quantité d'eau à ajouter aux grains afin de ramener leurs humidités à 17 % ce qui permet une bonne séparation des enveloppes de l'amande vitreuse et par conséquent une augmentation des taux d'extraction des semoules.

Les teneurs en eau des grains des blés étudiés varient entre 10,11% et 13,65% (fig. 16). Les humidités des génotypes de la station de Bordj Bou Arreridj sont relativement faibles par rapport à celles d'Oued Smar. Le génotype Vitron présente l'humidité la plus faible avec une valeur de 10,11%. Ces différences marquées peuvent être dues à divers facteurs (lieu de culture, différences variétales, conditions de stockage et de récolte,...).

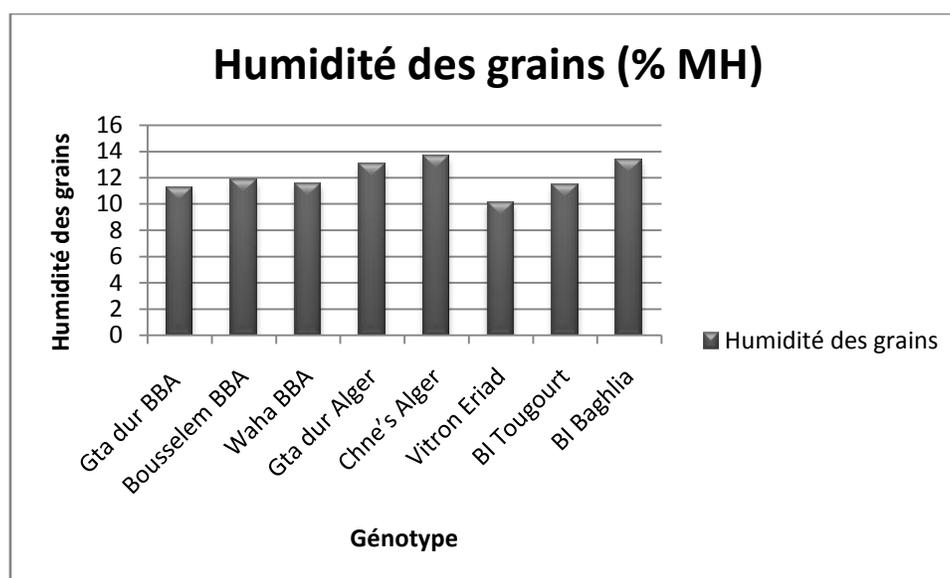


Figure 16: Humidité des grains de blé dur

1.2.2 Humidité des semoules :

La détermination de la teneur en eau d'une semoule conditionne d'une part la précision des divers résultats analytiques rapportés à la matière sèche et d'autre part elle est nécessaire à la mise en œuvre des tests technologiques, car certains modes opératoires tiennent compte de ce paramètre, tel que l'essai à l'alvéographe, du mixographe et celui de la panification...

RESULTATS ET DISCUSSIONS

Il ressort que les humidités des semoules des génotypes étudiés varient entre 13,81% et 16,19 % avec une moyenne de 15,35 % et un écart type de 0,76 (fig. 17).

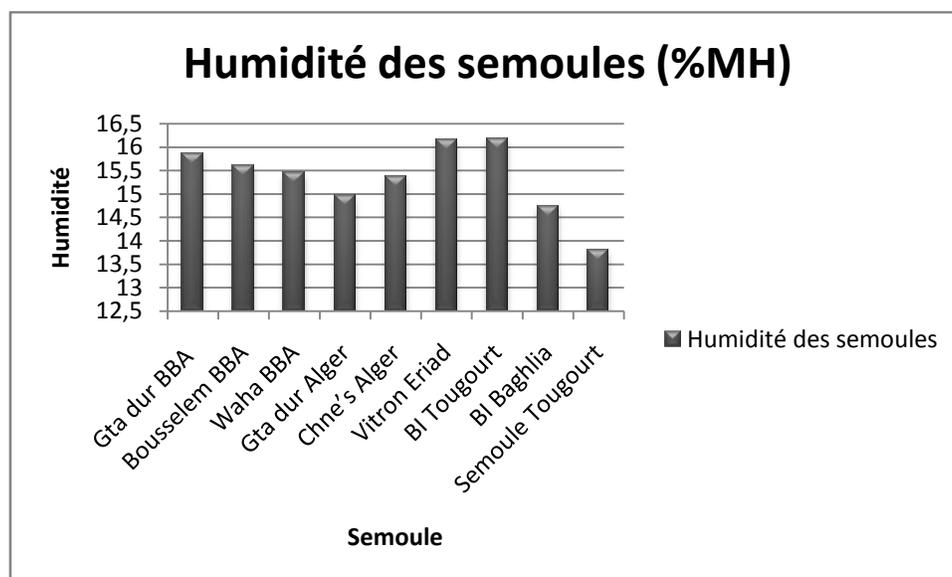


Figure17 : Humidités des semoules de blé dur

Les différences de l'humidité des semoules peuvent être expliquées par plusieurs facteurs entre autres la perte en eau lors de la mouture, et l'homogénéité du mouillage lors du conditionnement.

Sur la base de l'ensemble des résultats des paramètres physiques, le facteur variétal et le facteur milieu contribuent dans une large mesure dans les variations du pourcentage de vitrosité, du PMG, du degré de moucheture et de la teneur en eau des grains.

II. TESTS TECHNOLOGIQUES

Le tableau 12 donne les résultats des différents tests technologiques obtenus sur les différents échantillons étudiés.

RESULTATS ET DISCUSSIONS

Tableau 12 : Résultats des tests technologiques des semoules de blé dur.

Semoule	T.extraction (%)	Cendres (%MS)	Indice de jaune (b*)	Indice de brun (100-L*)	D 50	Sg	SDS (ml)
Gta dur BBA	61,02	0,93	27,25	12,47	267,06	1,31	26,9
Boussallem BBA	57,97	0,83	22,245	10,63	268,2	1,32	16,65
Waha BBA	59,21	0,88	24,96	9,86	252,8	1,36	15,65
Gta dur Alger	64,51	0,91	26,91	10,31	265,51	1,34	18,25
Chen's Alger	56,59	0,84	22,49	9,97	255,06	1,35	27,25
Vitron Eriad	58,66	0,89	25,4	8,22	264,26	1,33	22,85
BI Tougourt	58,12	0,95	32,18	8,52	266,07	1,33	28,9
BI Baghlia	58,02	0,81	21,92	8,70	261,54	1,34	20,85
Semoule Eriad	64,01	0,98	34,34	14,46	287,15	1,27	31,25
Moyenne	59,8	0,891	26,46	10,35	265,29	1,32	23,17
Ecart type	2,46	0,057	4,32	2,01	9,78	0,02	5,67

2.1 Taux d'extraction

Le taux d'extraction représente le pourcentage de semoule extraite à partir de la mouture de 100 kg de blé propre.

Le taux d'extraction est fonction des caractéristiques physiques des grains et des conditions de mouture (conditionnement).

La semoule provient particulièrement de l'albumen du grain qui représente environ 70 % du poids du grain. La majeure partie des matières minérales contenues dans la semoule proviennent du son. Bien qu'une grande partie du son soit extraite lors de la mouture, le produit final en contient toujours encore, donc plus le taux d'extraction est élevé, plus la semoule contient des minéraux.

BOURDET (1976) préconise un taux de 60 à 70% pour la réalisation des tests technologiques.

Les résultats illustrés dans la figure 18 montrent que les taux d'extraction des blés étudiés sont compris entre 56,59% et 64,51% avec une moyenne de 59,8 % et un écart type de 2,46. Ces valeurs sont inférieures à celles trouvées par **SAPIRSTEIN et al.**, (2007) (taux d'extraction moyen de 75%) ; **OHM et al.**, (2010) (taux d'extraction moyen de 64.9%) et **LADRAA** (2012) (taux d'extraction moyen de 68.30%), cependant elles sont supérieures à celles trouvées par **AIT SIDHOUM** et **BENDJABEUR** (2009) (47,90% de valeur moyenne du taux d'extraction).

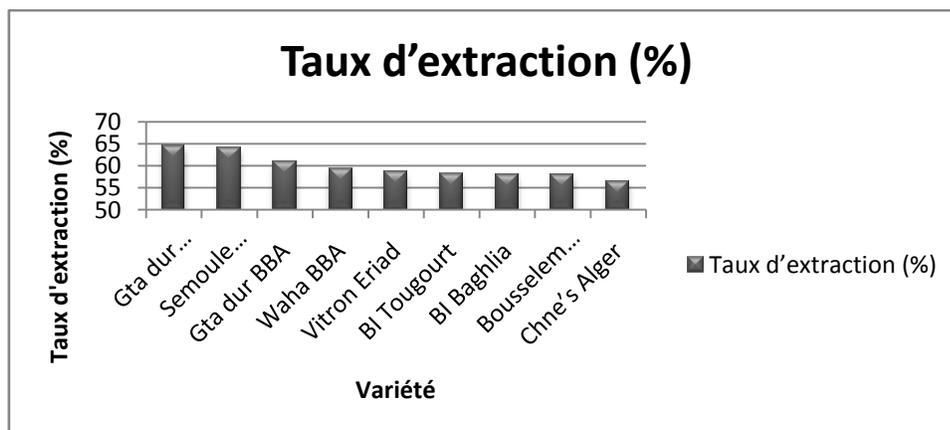


Figure 18: Taux d'extraction des génotypes de blé dur

Les faibles taux d'extraction obtenus peuvent être expliqués par le génotype ou par le moulin (réglage du moulin, et type de mouture).

2.2 Teneur en cendres :

La teneur en matières minérales du blé dépend pour une large part d'un grand nombre de facteurs (agronomiques, lieu de culture, fertilisation...etc.).

La teneur en cendres est un critère d'appréciation de la pureté des semoules, elle varie suivant le taux de cendres du blé mis en œuvre. Selon **LAMPEREUR et al.**, (1997) l'hétérogénéité de répartition des matières minérales dans le grain et au sein de l'albumen amylicé, ainsi que la variabilité de la composition du résidu d'incinération invitent à rester prudent quant à l'utilisation de la teneur en cendres comme marqueur pertinent de la pureté. En effet, la détermination de la teneur en acide férulique apparait comme un meilleur marqueur de la pureté des fractions de moutures en mesurant le degré de contamination des semoules par les enveloppes (**SYMONS et DEXTER**, 1996).

Les teneurs en cendres des semoules étudiées varient entre 0,81% MS et 0,98% MS avec une moyenne de 0,891% MS et un écart type de 0,057. Ceci est en accord avec les données de **BORRELLI et al.**, (2008) qui ont trouvé une teneur moyenne en cendre de 0,892 et celles du **J.O.R.A.** (2007) qui fixe un maximum de 1% MS de cendres dans la semoule.

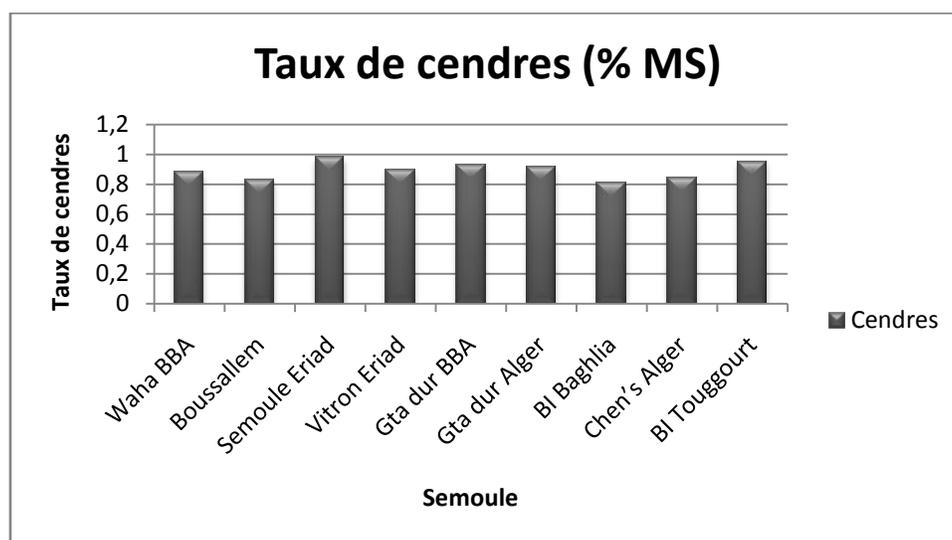


Figure 19: Taux de cendres des semoules

SAPISTEIN *et al.*, (2007) et **FOIS** *et al.*, (2011) ont trouvé des teneurs allant de 0,66 à 0,79 %, **LADRAA** (2012) et **TAZEROUT** (2013) ont rapporté une fourchette de 0,78 à 1 % et de 0,76 à 0,87 respectivement.

Une teneur en cendres élevée dans la semoule tend à augmenter la coloration brune réduisant ainsi la couleur jaune de la semoule et des pâtes (**KOBREHEL** *et al.*, 1974; **MATSUO** et **DEXTER**, 1980b; **TAHA** et **SAGI**, 1987). Le taux de cendres des semoules apparait influencé à la fois par l'origine génétique, l'année de récolte et par le lieu de culture (**ABECASSIS** et **FEILLET**, 1985 ; **PETERSON** *et al.*, 1986).

2.3 Indices de coloration :

La couleur est l'un des principaux facteurs influençant la qualité de la semoule de blé dur et le choix du consommateur. Elle est considérablement influencée par les caractéristiques des blés mis en œuvre.

Les différents indices de coloration des semoules sont regroupés dans le tableau 12

2.3.1 Indice de jaune (b*):

La couleur jaune est reliée à la teneur en pigments caroténoïdes et aux faibles réactions de brunissement enzymatiques et non enzymatiques (**FRATIANNI** *et al.*, 2005)

Les valeurs de l'indice de jaune des semoules de blé dur étudiées varient entre 21,92 et 34,34 avec une moyenne de 26,46 et un écart type de 4,32 (fig.20).

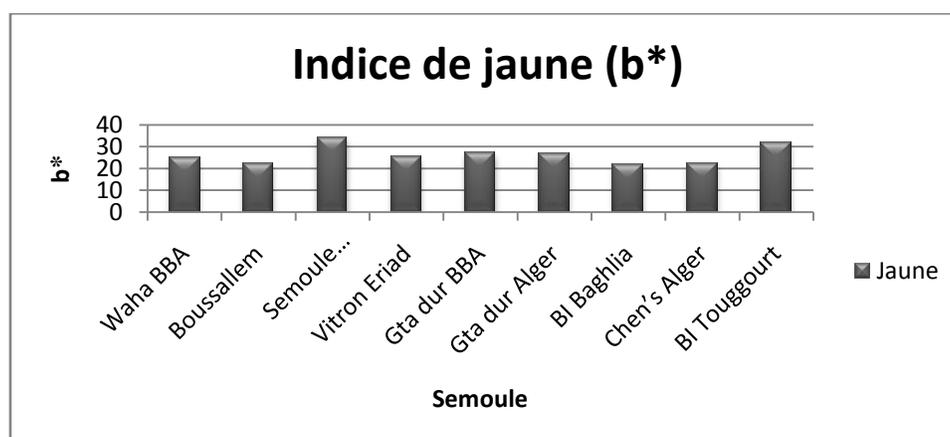


Figure 20: Indice de jaune des semoules de blé dur

D'après l'échelle de classement donnée par **HOULIAROPOULOS** *et al.*, (1981) pour les semoules; nos échantillons de semoules présentent dans l'ensemble une coloration jaune faible sauf pour la semoule (BI Touggourt) et la semoule (Eriad) qui présentent des indices de jaune moyens, par conséquent on peut lier cette observation au fait que les teneurs en pigments caroténoïdes peuvent diminuer au cours du stockage et de la mouture après la transformation du blé en semoule (**FEILLET**, 1986 ; **DEMARCHI**, 1994).

Les indices de jaune des échantillons de semoules étudiés sont de même ordre de grandeur que ceux obtenus par **FOIS** *et al.*, (2011) [24,6 – 31,6]. Cependant ils sont supérieurs à ceux trouvés par **LADRAA** (2012) et **TAZEROUT** (2013) qui ont trouvé des indices compris entre 18,58 et 23,55 ; et entre 16,23 et 22,58 respectivement.

KLING *et al.*, (2000), à travers une étude sur 5 variétés de blés durs allemands, ont montré que la variation de l'indice de jaune est attribuée au facteur génétique (25%), mais aussi, il est fortement influencé par le milieu de culture (36%), et par l'interaction sites x année de culture (23%). Toutefois, pour **D'EGIDIO** (1996) l'indice de jaune est un facteur variétal et dépend assez peu du milieu de culture.

2.3.2 Indice de brun (100-L*) :

L'indice de brun est une caractéristique variétale, influencée par le milieu de culture (facteurs climat, sol, techniques culturales, etc.) (**TRENTESAUX**, 1995)

Les activités des peroxydases (POD) et des polyphénoloxydases (PPO), avec la teneur en cendres, sont les principaux facteurs qui contribuent à la couleur brune de la semoule (**KOBREHEL** *et al.*, 1974; **TAHA** et **SAGI**, 1987)

Les réactions de peroxydation des acides gras insaturés contenus dans la semoule contribuent à augmenter le phénomène de brunissement (**LAGNELET**, 1979). La diminution de l'activité de cet enzyme (POD) se fait, par la sélection de variétés à faibles quantités, ou la mise en œuvre de technologies appropriées (purification des semoules durant la mouture, application de températures élevées en début de séchage) qui ont des effets intéressants sur la coloration.

RESULTATS ET DISCUSSIONS

Les valeurs de l'indice de brun sont comprises entre 8,22 et 14,46 avec une moyenne de 10,35 et un écart type de 2,01 (Fig. 21).

D'après l'échelle de classement des semoules de **HOULIAROPOULOS** *et al.*, (1981) ; nos échantillons ont des indices de brun faibles. Nos résultats se rapprochent de l'intervalle rapporté par **FOIS** *et al.*, (2011) [10,8 – 15,8] ; **LADRAA** (2012) [10,29 – 13,99] et **TAZEROUT** (2013) [10,67 – 14,05].

FEILLET et **KOBREHEL** (1974) ont observé une augmentation de l'indice de brun en fonction de la teneur en protéines. **HOULIAROPOULOS** *et al.*, (1981) ont montré que l'indice de brun est beaucoup plus influencé par les facteurs agro-climatiques et le taux d'extraction.

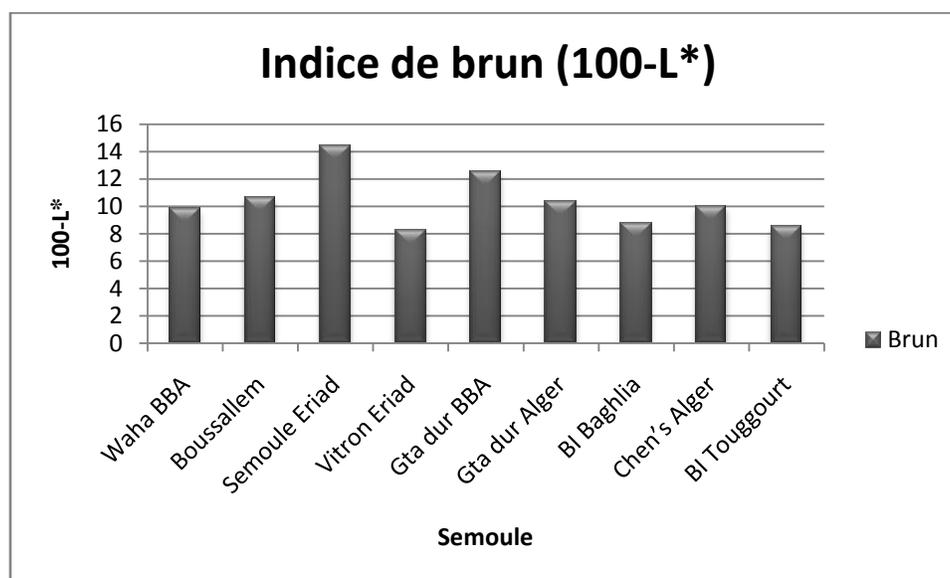


Figure 21: Indice de brun des semoules de blé dur

2.4 Taux d'affleurement

L'examen granulométrique d'une semoule consiste à déterminer la grosseur de ses particules et leurs proportions pondérales respectives. Il renseigne sur la façon dont le blé a été travaillé au moulin et essentiellement sur le taux d'extraction de la semoule.

RESULTATS ET DISCUSSIONS

Les résultats de test granulométrique sont regroupés dans le tableau 12.

La granulométrie est l'un des paramètres essentiels modulant la vitesse d'hydratation de la pâte et gouvernant la qualité des produits finis (FEILLET, 2000)

La granulométrie médiane (D50) des semoules varie de 252,80 μm (Waha BBA) à 287,15 μm (Semoule Eriad) avec une moyenne de 265,29 et un écart type de 9,78 (fig.22). Ces valeurs sont comprises dans la fourchette rapportée par LADRAA (2012) [240 à 370 μm], cependant elles sont plus élevées que celles trouvées par TAZEROUT (2013) [186,5 à 211 μm]. Ces différences peuvent être expliquées par le fait que le taux d'affleurement dépend beaucoup des paramètres technologiques à savoir le conditionnement (COLAS et PETEL, 1984), et plus la dureté du grain est grande, plus la granulométrie de la semoule sera élevée (ABECASSIS, 1987).

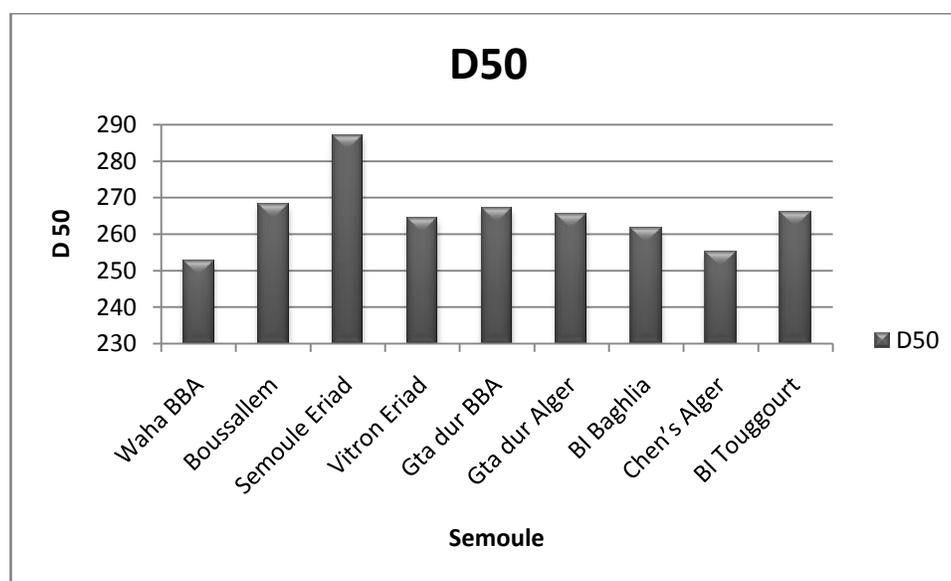


Figure 22: Granulométrie médiane des semoules de blé dur

La variation géométrique des semoules mesurée par le diamètre de position (S_g) est comprise entre 1,27 (Semoule Eriad) et 1,36 (Waha BBA) avec une moyenne de 1,32 et un écart type de 0,02 (fig.23). Ces valeurs sont de même ordre de grandeur que celles obtenues par TAZEROUT (2013) [1,23 à 1,34], cependant elles sont plus élevées que celles rapportées par LADRAA (2012) [0,55 à 0,60]. Plus l'écart géométrique est faible,

plus la granulométrie de la semoule est homogène (**TIGROUDJA** et **BENDJOUDI**, 1999).

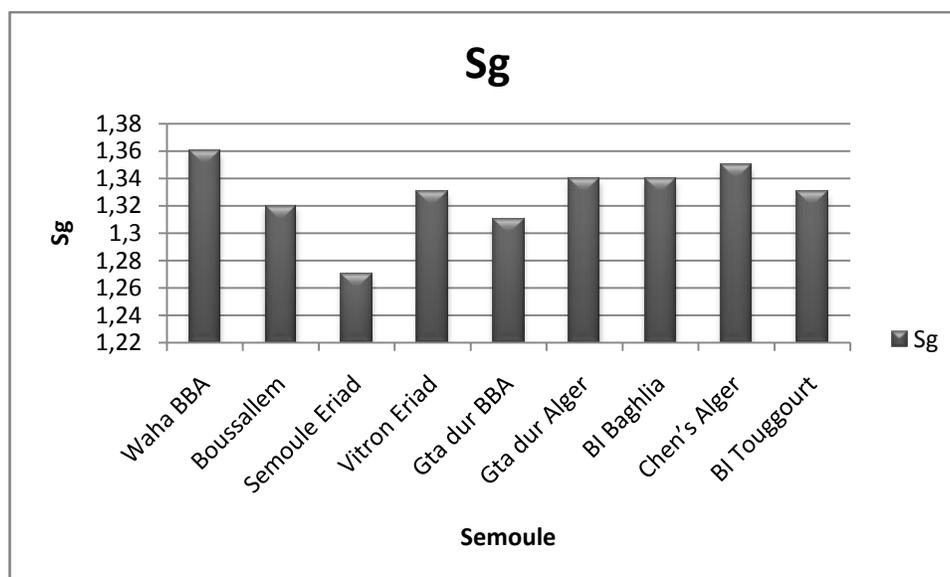


Figure 23: Variation géométrique des semoules de blé dur

La granulométrie de la semoule influe également sur la qualité de nombreux dosages ainsi que sur la quantité et la vitesse d'absorption de l'eau, qui est fonction de la surface réactive et qui augmente avec la finesse des particules. Une granulométrie trop fine entraîne une dégradation mécanique des constituants biochimiques de la semoule, notamment l'endommagement de l'amidon (**BAIANO et al.**, 2009)

2.5 Test de sédimentation en milieu SDS

Ce test apprécie la qualité des protéines indépendamment des conditions de développement de la plante (milieu, année, fumure azotée, ...).

QUIK et **DONNELLY** (1980) ; **MONNEVEUX** et *al.*, (1984) ont indiqué que ce test permet d'apprécier la force du gluten indépendamment de la teneur en protéines des échantillons, et ont signalé que les volumes de sédimentation obtenus par ce test sont étroitement corrélés à la force du gluten.

RESULTATS ET DISCUSSIONS

Les volumes de sédimentation en milieu SDS des échantillons étudiés oscillent entre 15,65 ml (Waha BBA) et 31,25 ml (Semoule Eriad) avec une moyenne de 23,17 ml et un écart-type de 5,67 (fig. 25). Ils sont mentionnés dans le tableau 12.

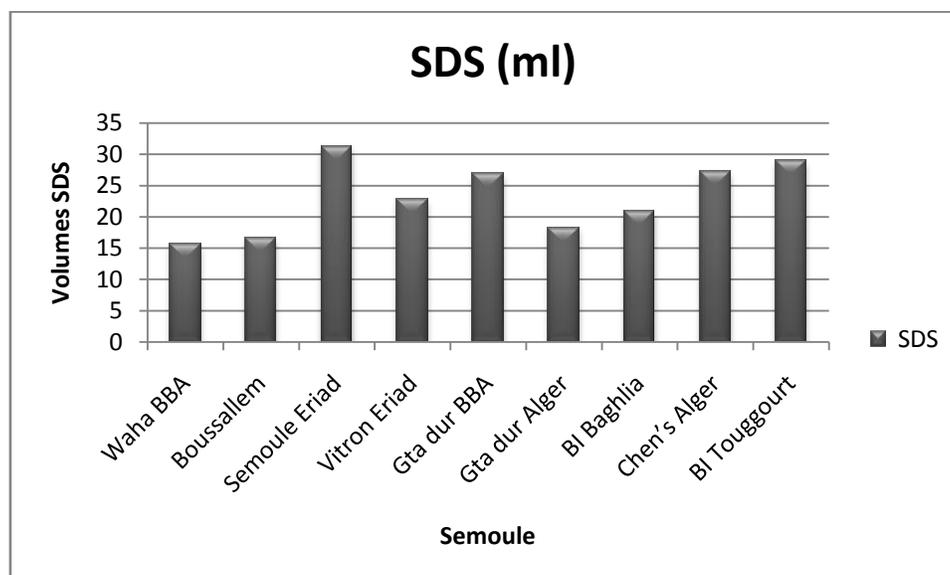


Figure 24: Volume de sédimentation SDS des semoules de blé dur

ROYO *et al.* (2009) ont classé les variétés de blé dur en fonction de leur volume de sédimentation SDS, en effet, un volume SDS <30 ml indique un gluten faible et un volume SDS ≥ 35 ml indique un gluten fort.

La hauteur du sédiment dépend de la quantité et la qualité du gluten (**JEANTET** *et al.*, 2007). Ce sont surtout les gluténines à haut poids moléculaire (et non pas les gliadines) qui se gonflent en présence du SDS (**PAYNE** *et al.*, 1984).

Par référence aux travaux de **WILLIAMS** *et al.*, (1988), les génotypes de blé dur étudiés peuvent être classés selon leur volume de sédimentation en milieu SDS dans la catégorie des blés durs à très faible force. Ceci peut être dû au fait que les normes fixées pour le test SDS sont relatives à ce test effectué sur mouture complète et sur blé tendre.

En effet, d'après **AUTRAN** *et al.*, (1989), les valeurs du test SDS pour les blés durs sont en général plus faibles que celles des blés tendres

RESULTATS ET DISCUSSIONS

D'une manière générale, ces résultats sont en accord avec ceux trouvés par **TAZEROUT** (2013), **LADRAA** (2012) et **AMMOUCHE** (2002) mais inférieurs à ceux de **DJEMA** (2000), **OKANDZA** (2000) et **AIT SIDHOUM** et **BENDJABEUR** (2009).

AXFORD *et al.*, (1979); **PAYNE** *et al.*, (1980); **KRATTIGER** *et* **LAW** (1991) ; **PENA** (2000) ont rapporté de fortes corrélations positives entre le volume de sédimentation et la force du gluten.

2.6 Teneur en gluten:

Le gluten est le constituant protéique le plus important de la semoule dont le rôle est essentiel dans les diverses fabrications (pain, pâtes alimentaires, couscous...). Il constitue l'armature de la pâte et lui communique sa force (ses qualités mécaniques) (**ELIASSON** et **LARSSON**, 1993).

Le dosage du gluten repose sur son insolubilité dans l'eau chargée de sels et sur la propriété qu'il possède de s'agglomérer lorsqu'on malaxe la pâte sous un courant d'eau qui élimine les autres constituants (tel que l'amidon). La masse plastique obtenue est pesée à l'état humide puis après dessiccation.

Le tableau (13) rassemble les valeurs du gluten sec, du gluten humide et de la capacité d'hydratation.

Tableau 13 : Teneurs en gluten sec, humide et capacité d'hydratation des semoules

Géotypes	Gluten humide (% MS)	Gluten sec (% MS)	Capacité d'hydratation (%)
Waha BBA	18,4	8,52	53,7
Boussallem	20,5	9,33	54,49
Semoule Eriad	39	12,9	66,92
Vitron Eriad	26,4	9,85	62,69
Gta dur BBA	28,1	10	64,41
Gta dur Alger	31,1	10,4	66,56
BI Baghlia	30,8	10,2	66,88
Chen's Alger	24,6	9,69	60,61
BI Touggourt	37,3	12,36	66,86
Moyenne	28,46	10,36	62,57
Ecart-type	6,94	1,40	5,28

2.6.1 Gluten humide

Les teneurs en gluten humide des semoules étudiées oscillent entre 18,4 % MS (Waha BBA) et 39 % MS (Semoule Eriad) avec une moyenne de 28,46% MS et un écart-type de 6,94 (Fig. 26).

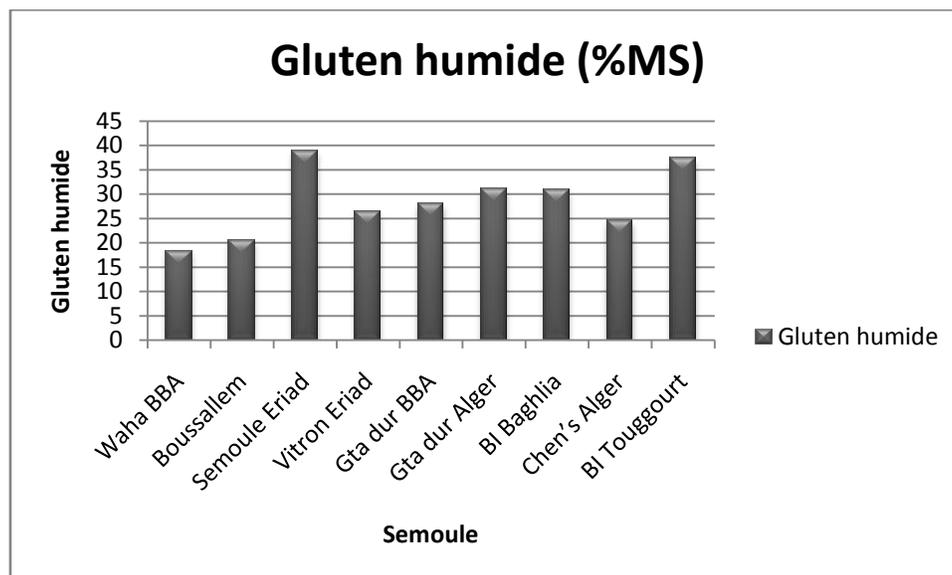


Figure 25: Teneur en gluten humide des semoules de blé dur

Ces valeurs corroborent celles trouvées par **TAZEROUT** (2013) qui sont de 25,86% MS à 31,42% MS et **DJABER** et **SEDDI** (2012) qui sont de 22,10% MS à 28,34% MS. Elles sont supérieures à celles rapportées par **LADRAA** (2012) [15,70% MS – 25,95% MS] mais restent inférieures à celles trouvées par **RAO et al.**, (2010) [32,9 % MS–37 % MS] et **AIT SIDHOUM** et **BENDJABEUR** (2009) [44,86% MS-53,8% MS].

2.6.2 Gluten sec

Les teneurs en gluten sec des semoules sont comprises entre 8,52% MS (Waha BBA) et 12,9% MS (Semoule Eriad) avec une moyenne de 10,36 % MS et un écart-type de 1,40 (Fig. 27).

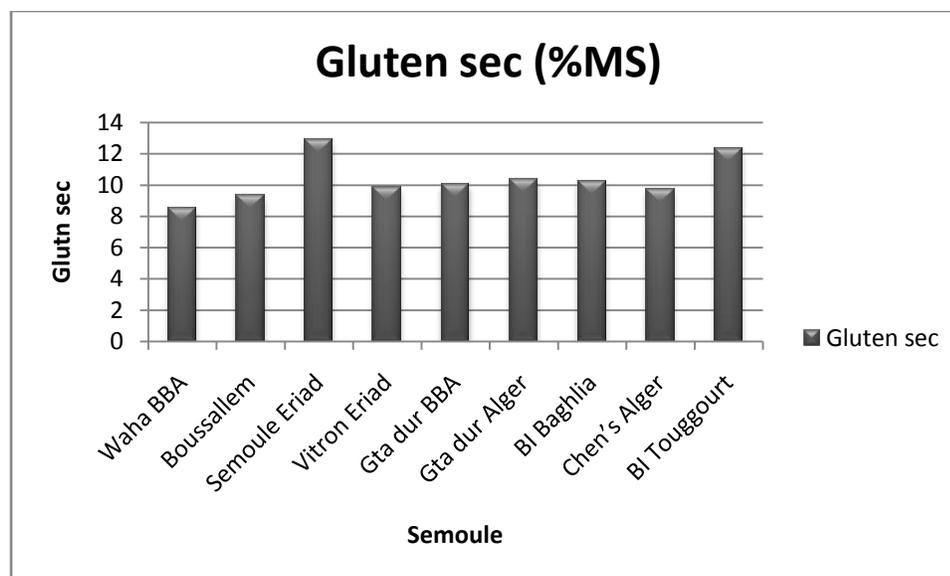


Figure 26 : Teneur en gluten sec des semoules de blé dur

Ces valeurs sont de même ordre de grandeur que celles trouvées par **TAZEROUT** (2013) qui sont de 9,35% MS à 12,5% MS et **DJABER** et **SEDDI** (2012) qui sont de 9,35% MS à 11,95% MS. Elles sont supérieures à celles rapportées par **LADRAA** (2012) [5,95% MS – 9,59% MS] et **FOIS et al.**, (2011) [8,26 % MS - 9,77 % MS] mais restent inférieures à celles trouvées par **RAO et al.**, (2010) [11,6 % MS-13,1 % MS] et **AIT SIDHOUM** et **BENDJABEUR** (2009) [15,39% MS-18,92% MS].

En se basant sur l'échelle de classement proposée par **MATVEEF** (1966) (Si la teneur en gluten sec est inférieure à 11% MS c'est un blé insuffisant, une teneur en gluten sec comprise entre 11% MS et 15 % MS c'est un blé de bonne valeur pastière et une teneur en gluten sec supérieure à 15 % MS, il est considéré comme un blé de force) ; nos échantillons peuvent être classés dans la catégorie des blés insuffisants sauf la semoule Eriad et le BI Touggourt qui appartiennent à la catégorie des blés de bonne valeur pastière.

En Italie, la teneur en gluten sec ne doit pas dépasser 11% MS pour la fabrication du pain de blé dur « Matera bread » (**I. P. Z. S.**, 2004. In : **PASQUALONE et al.**, 2004).

Les teneurs élevées en gluten sec et humide des semoules de blé dur sont expliquées par la forte corrélation significative entre la teneur en protéines et la teneur en

gluten (**QUAGLIA**, 1988). Plus les quantités de gluten extraites sont élevées, meilleure est la qualité de l'échantillon (**MOTQUIN et al.**, 2007).

Cependant, **CORBELLIN et al.**, (1998) et **LUO et al.**, (2000) ont noté que les propriétés rhéologiques du gluten sont affectées de même que la quantité et la qualité des protéines, par le niveau de fertilité du sol notamment les disponibilités de l'azote et du soufre.

2.6.3 Capacité d'hydratation

Les valeurs de la capacité d'hydratation varient entre 53,70 % (Waha BBA) et 66,92 % (Semoule Eriad) avec une moyenne de 62,57 %, un écart type de 5,28 (Fig. 28).

Ces valeurs se rapprochent de celles trouvées par **AIT SIDHOUM** et **BENDJABEUR** (2009) [une moyenne de 65,46 %] ; **DJABER** et **SEDDI** (2012) [une moyenne de 61,67%] et **LADRAA** (2012) [une moyenne de 62,59 %].

Nous constatons que la capacité d'hydratation du gluten de nos semoules est légèrement faible et varie peu pour l'ensemble des échantillons (Norme de 68% rapportée pour le blé tendre).

Il ne suffit pas d'avoir une teneur élevée en gluten, si celui-ci manque d'élasticité, de cohésion et de fermeté et ne possède pas un bon pouvoir absorbant (**FISHER**, 1997).

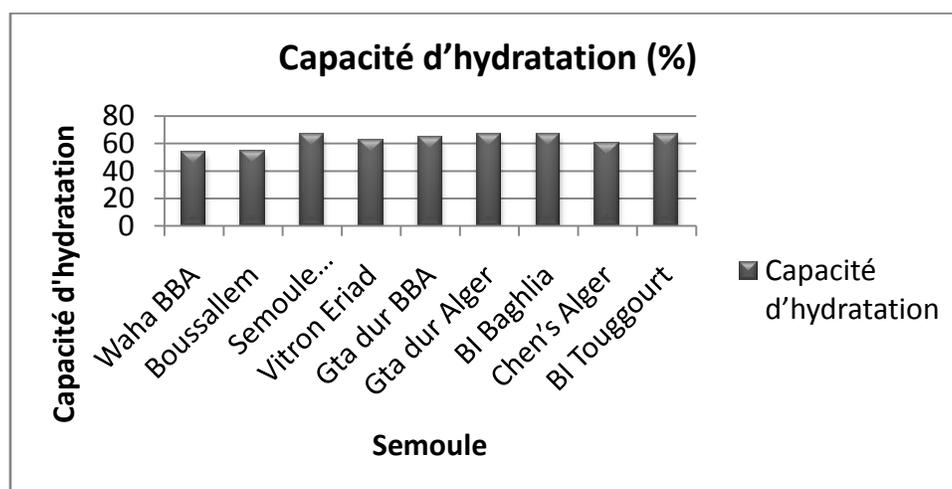


Figure 27: Capacité d'hydratation des semoules de blé dur.

2.7 Amidon endommagé et Amidon total :

Le taux d'amidon endommagé des semoules est fonction des propriétés intrinsèques du blé (variété, dureté...) mais surtout du process de mouture.

La dureté extrême du blé dur présente le risque de lésurer excessivement l'amidon pendant la réduction de la semoule et affecte défavorablement la qualité du pain (**DEXTER et al.**, 1994).

Une majorité de problèmes rencontrés en panification ont pour origine un écart de taux d'amidon endommagé par rapport à un intervalle optimum défini. L'AACC préconise des teneurs en amidon endommagé comprises entre 4 et 9% MS \pm 0,7% pour avoir une pâte de bonnes qualités physiques et fermentatives qui va donner par la suite du bon pain.

Les teneurs en amidon endommagé des semoules étudiées varient de 2,49% MS à 6,44% MS avec une moyenne de $5,15 \pm 1,12$ % (fig.29). Ces valeurs sont voisines que celles trouvées par **LINDAHL** et **ELIASSON** (1992) [4,8 % MS à 8,2 % MS], **BOYACIOGLU** et **D'APPOLONIA** (1994) [une moyenne de 5,19 % MS], **HARELAND** et **PUHR** (1999) [2,8 % MS à 8,5% MS], **RAO et al.**, (2001) [3,6 % MS à 4,2% MS], **HEBRARD et al.**, (2003) [une moyenne de 5,9 % MS] et **KIHLBERG et al.**, (2004) [2,7 % MS à 7,82% MS].

Le taux d'amidon endommagé dans les particules de la semoule est très important en panification. Pour s'assurer d'un gazage adéquat durant la fermentation, un certain endommagement d'amidon est nécessaire (**SISSONS**, 2008). Par conséquent, si la teneur en amidon endommagé de la semoule augmente (absorption d'eau) la pâte devient plus rigide, la longueur de la courbe alvéographique diminue, la hauteur et la surface de la courbe augmentent (**DEXTER et al.**, 1994).

✓ **Amidon total**

Les teneurs en amidon total des semoules étudiées varient de 68,05 % MS à 85,52 % MS avec une moyenne de $79,66$ % MS \pm 6,53 (fig.29). Ces valeurs sont proches de celles trouvées par **BOYACIOGLU** et **D'APPOLONIA** (1994b) [une moyenne de 86,1

RESULTATS ET DISCUSSIONS

% MS], **HEBRARD** *et al.*, (2003) [une moyenne de 86,1 % MS] et **SISSONS** (2008) [64,1 % MS à 68,3 % MS].

LABUSCHAGNE *et al.*, (2009) ont trouvé des valeurs comprises entre 43,76 % MS et 61,50 % MS.

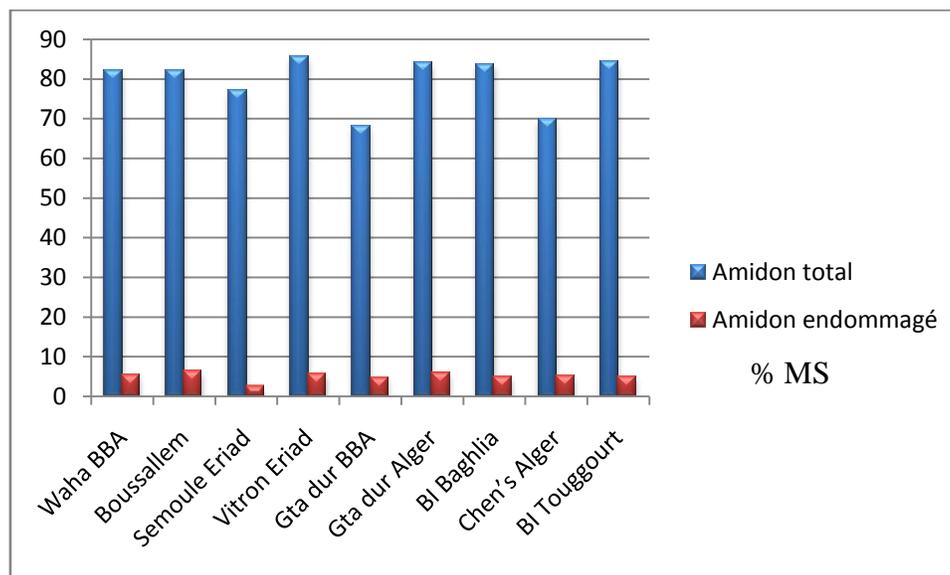


Figure 28: Teneur en amidon total et en amidon endommagé des semoules de blé dur.

III. ANALYSES RHEOLOGIQUES

Il s'agit de l'essai au mixographe et à l'alvéographe. Les résultats de ces analyses figurent aux tableaux 14 et 15. Les tracés des courbes sont donnés aux annexes 2 et 3.

3.1 Essai au mixographe :

Le tableau 14 donne le classement hiérarchique des génotypes étudiés en fonction de temps de pétrissage de leurs pâtes.

Le mixographe permet de tester la résistance et l'extension des pâtes au cours de pétrissage. Ce test est relié à divers paramètres associés à la valeur boulangère (force, ténacité, extensibilité, volume du pain notamment) (**BRANLARD** *et al.*, 2001).

En se référant au « grading » de (**WILLIAMS** *et al.*, 1988) pour apprécier la force d'un blé, il ressort du tableau n° 13 que :

RESULTATS ET DISCUSSIONS

➤ Le génotype Chen's Alger et le BI Touggourt ont des temps de développement de la pâte de 6,15 min et 4,57 min respectivement, ce sont donc des blés de **très bonne force**. La tolérance au pétrissage de ces deux échantillons est de 9,65% et 7,89% respectivement, ce sont donc des semoules à bonne tolérance. La hauteur de la courbe au pic max est de 53,51 % pour Chen's et 58,33% pour le BI Touggourt.

➤ La semoule du blé industriel de Baghliia et la semoule de la variété (Vitron) ont des temps de développement de la pâte de 4,39 min et 4,21 min respectivement, ils peuvent donc être considérés comme des blés de **bonne force boulangère**. Leur tolérance au pétrissage est bonne (6,14%) pour le blé de Baghliia et très bonne (4,38%) pour Vitron, les hauteurs des courbes sont de 51,75% pour le premier et 47,37% pour le deuxième respectivement.

➤ Les génotypes GTA Dur Alger et GTA Dur BBA ont donné des temps de développement de la pâte de 3,18 min et 3,15 min respectivement, ce sont donc des blés de **force boulangère moyenne**. La tolérance au pétrissage est moyenne pour la variété Gta dur Alger (14,91%) et faible pour Gta dur BBA (27,19%), quant à leur hauteur de la courbe au pic max elle est de 71,05% pour le premier et de 75,44 pour le deuxième.

➤ Les trois derniers génotypes de classement hiérarchique (Semoule Eriad, Waha BBA et Boussallem BBA) ont donné des temps de développement de la pâte compris entre 2,3min et 1,5 min ils peuvent donc être considérés comme des blés de **faible force boulangère**. En ce qui concerne leur tolérance au pétrissage, elle est très bonne pour la semoule d'Eriad (4,38%), bonne pour le génotype Boussallem (6,14%) et moyenne pour le génotype Waha. Leurs hauteurs des courbes au pic max sont de 57,89% pour la semoule « Eriad », 47,37% pour le génotype Boussallem et 50% pour le génotype Waha.

Tableau 14 : Classement hiérarchique des génotypes étudiés en fonction du temps de pétrissage de la pâte au mixographe.

Génotype	Temps de développement de la pâte (min)	Hauteur au pic max (%)	Affaiblissement (%)
Chen's Alger	6,15	53,51	9,65
BI Touggourt	4,57	58,33	7,89
BI Baghlia	4,39	51,75	6,14
Vitron Eriad	4,21	47,37	4,38
Gta dur Alger	3,18	71,05	14,91
Gta dur BBA	3,15	75,44	27,19
Semoule Eriad	2,3	57,89	4,38
Boussallem BBA	2,18	47,37	6,14
Waha BBA	1,50	50	12,28

3.2 Essai à l'alvéographe CHOPIN

L'alvéographe est largement utilisé dans la détermination de la force du gluten du blé dur (**D'EGIDIO et al.**, 1990)

Les résultats de l'essai à l'alvéographe sont regroupés dans le tableau 15 et illustrés par les figures (annexe 3).

Selon la norme ISO5530/04 sur le blé tendre :

↳ Les **6** premiers échantillons du classement hiérarchique peuvent être classés comme des **blés panifiables courants** avec des W compris entre 130 (10^{-4} J) et 250(10^{-4} J), ces blés présentent des rapports de configuration P/L déséquilibrés et des gonflements G insuffisants (entre 10,39 cm³ et 19 cm³),

Sur la base de la ténacité de la pâte et d'après les critères de **BORDES et al.**, (2008), ces différents échantillons peuvent être considérés comme :

- La semoule de la variété **Vitron « Eriad »** présente une ténacité de 78,87 mm et considérée comme un blé standard.
- Les trois échantillons (**Chen's Alger**, **Gta dur BBA** et **Gta dur Alger**) présentent des ténacités de 98,89 mm; 93,94 mm; 87,67mm

RESULTATS ET DISCUSSIONS

respectivement, peuvent être considérés comme des blés de très bonne qualité.

- Les blés industriels de **Touggourt** et de **Baghlia** présentent des tenacités élevées (142,81 mm et 125,73 mm respectivement), ce sont des blés très forts.

↳ Les 3 derniers échantillons du classement hiérarchique ont donné des W alvéographiques inférieurs à 130 (10^{-4} J) et considérés comme **impanifiables**. Ces semoules présentent les caractéristiques suivantes:

- Des gonflements G insuffisants (de 11,72 cm³ à 20,68 cm³), des rapports de configuration P/L déséquilibrés à l'exception de la semoule Eriad qui a présenté un rapport de configuration équilibré (0,85).
- Des ténacités faibles (68,2mm et 73,7 mm) à l'exception de la variété **Waha** qui a présenté une ténacité très faible (de 49,83 mm).

La quasi-totalité des échantillons étudiés se caractérisent par des gonflements G faibles (inférieur à 20cm³).

La majorité des échantillons se caractérisent par des rapports de configuration P/L déséquilibrés et élevés à l'exception de la semoule « Eriad ».

Les indices d'élasticité de 5 échantillons étudiés sont d'après **BERLAND** et **ROUSSEL** (2005) élevés (entre 67,69 et 77,69), 4 génotypes ont des Ie incalculables (extensibilité L<40).

RESULTATS ET DISCUSSIONS

Tableau15: Classement hiérarchique des génotypes étudiés en fonction de la force boulangère (W).

Génotypes	W (10 ⁻⁴ J)	P (mmH ₂ O)	L (mm)	G (cm ³)	P/L	Ie (%)
BI Touggourt	212,81	142,81	73,25	19	1,95	73,67
Chen's Alger	202,02	98,89	72,5	18,90	1,36	74,07
BI Baghlia	188,55	125,73	36,5	13,42	3,44	-----
Gta dur Alger	167,42	87,67	21,5	10,36	4,08	-----
Gta dur BBA	161,21	93,94	68	18,30	1,38	76,50
Vitron Eriad	135,44	78,87	66	18,02	1,20	77,69
Semoule Eriad	118,44	73,7	87	20,68	0,85	67,69
Boussallem	76,87	68,2	28	11,8	2,44	-----
Waha BBA	74,81	49,83	28	11,72	1,78	-----

IV. TESTS BIOCHIMIQUES

4.1 Teneur en protéines totales

La connaissance de la teneur en protéines associée à celle de la variété du blé, donne une bonne information sur la qualité technologique de la semoule (**VERAVERBEKE et DELCOUR**, 2002).

Le tableau 16 regroupe les teneurs en protéines totales des échantillons étudiés. Ces teneurs varient de 11,17% MS à 14,10% MS (grammes de protéines dans 100 g de matière sèche) avec une moyenne de 12, 55% MS \pm 1,17. La plupart des valeurs dépassent le seuil de 10-11% MS en dessous duquel selon **BERLAND** et **ROUSSEL**(2005) on ne peut pas obtenir de bons résultats en panification.

RESULTATS ET DISCUSSIONS

Selon **AUTRAN** (1996), 11 à 13% de protéines dans la semoule sont nécessaires à la fabrication de pâtes alimentaires de qualité requise. De ce fait, on peut dire que nos échantillons pourraient répondre à une bonne qualité pastière.

Tableau 16: Classement hiérarchique des géotypes étudiés en fonction de leurs teneurs en protéines totales.

Géotypes	Teneur en protéines (% MS) (*)
BI Touggourt	14,10
Semoule Eriad	14,09
Vitron Eriad	13,52
Chen's Alger	13,23
BI Baghlia	11,98
Boussallem BBA	11,80
Gta dur Alger	11,60
Waha BBA	11,50
Gta dur BBA	11,17
Moyenne	12,55
Ecart type	1,17

(*) : Moyenne de deux essais.

Ces valeurs sont dans l'ensemble supérieures à celles trouvées par (**FOIS et al.**, 2011) qui ne dépassent pas les 12,1% MS, et proches de celles données par (**PALUMBO et al.**, 2000) et (**OHM et al.**, 2010) qui ont trouvé des teneurs en protéines totales des semoules de blé dur comprises entre (10,45 % MS et 13,25% MS) et (10,7% MS et 14,2% MS) respectivement.

La teneur en protéines est hautement influencée par l'année et les conditions de culture (notamment les facteurs agro-climatiques et la fertilisation azotée) et par le géotype (**PECHANEK et al.**, 1997 ; **MAGHIRANG et al.**, 2006). La quantité et la qualité sont des paramètres importants de la qualité boulangère (**WANG et al.**, 2007).

4.2 Fractionnement protéique :

Les teneurs en protéines des différentes fractions extraites à partir de 9 échantillons de semoules sont données dans le tableau 17.

Tableau 17: Teneur en différentes fractions protéiques des semoules de blé dur

Fraction Génotype	A. G.(% PT)	Gli. (% PT)	Glu. Sol. (% PT)	P. Sol. (% PT)	P. Ins. (% PT)
Waha BBA	20,46	38,54	26,12	85,12	14,88
Boussallem	22,91	37,66	24,26	84,83	15,17
Semoule Eriad	19,12	29,7	31,58	80,4	19,6
Vitron Eriad	17,2	36,54	25,62	79,36	20,64
Gta dur BBA	18,26	37,82	23,28	79,36	20,64
Gta dur Alger	21,29	32,04	22,77	76,1	23,9
BI Baghlia	22,09	36,82	19,92	78,83	21,17
Chen's Alger	19,39	35,4	19,59	74,38	25,62
BI Touggourt	20,88	32,84	17,87	71,59	28,41
Moyenne	20,17	35,26	23,44	78,88	21,11
Ecart type	1,84	3,04	4,14	4,44	4,44

4.2.1 Albumines-globulines :

Les teneurs en albumines-globulines des échantillons de semoules de blé dur sont comprises entre 17,2% PT et 22,91% PT avec une moyenne de 20,17±1,84% (tableau 17).

Ces teneurs sont plus élevées que celles trouvées par **OHM et al.**, (2010) [12,4% PT à 15,7 % PT], et **DJABER** et **SEDDI** (2012) [12,46 % PT à 18,48% PT]. **FERREIRA et al.**, (2012) ont rapporté une moyenne de 18.14 % PT ± 0.55%.

4.2.2 Gliadines :

Les teneurs en gliadines des génotypes étudiés varient entre 29,7 % PT et 38,54 % PT avec une moyenne de 35,26 % PT ±3,04% (tableau 17).

Ces valeurs sont de même ordre de grandeur que celles trouvées par **FERREIRA et al.**, (2012) qui ont rapporté une moyenne de 34.4 % PT ±0.81%, et **DJABER** et **SEDDI** (2012) [24,18 % PT à 34,40 % PT]. Cependant elles sont moins élevées que celle trouvées par **OHM et al.**, (2010) [35,2% PT à 46,5 % PT].

On constate que les teneurs en gliadines de nos échantillons se situe dans la fourchette proposée par **MELAS** *et al.*, (1993), qui ont rapporté que la teneur en gliadines des semoules de blé dur se situe entre 30 et 40% PT.

4.2.3 Gluténines solubles

Les teneurs en protéines des gluténines solubles de nos échantillons oscillent entre 17,87% PT et 31,58 % PT avec une moyenne de 23,44 % PT \pm 4,14% (tableau 17).

Ces teneurs sont proches de celles rapportées par **SAPIRSTEIN** *et al.*, (2007) [17% PT à 23,6% PT], **OHM** *et al.*, (2010) [25% PT à 31,8% PT], et **TAZEROUT** (2013) [16,48 % PT et 26,92% PT].

4.2.4 Résidus protéique insoluble (ou protéines insolubles)

Les teneurs en résidus insolubles des génotypes étudiés se situent entre 14,88% PT et 28,41% PT avec une moyenne de 21,11% PT \pm 4,44% (tableau 17).

Ces valeurs corroborent celles rapportées par **SAPIRSTEIN** *et al.*, (2007) [19,6% PT à 25,3 % PT]. **OHM** *et al.*, (2010) et **TAZEROUT** (2013) ont trouvé des valeurs comprises entre 12 % PT et 19,8% PT; et 11,42 % PT et 14,42% PT respectivement.

4.2.5 Protéines solubles

Cette fraction regroupe les protéines monomériques (albumines-globulines + gliadines) et les gluténines solubles. Les teneurs en cette fraction des génotypes étudiés sont regroupées dans le tableau.

Ces teneurs varient entre 71,59% PT et 85,12 % PT des protéines totales avec une moyenne de 78,88% PT \pm 4,44%. Ces valeurs sont de même ordre de grandeur que celles rapportées par **SAPIRSTEIN** *et al.*, (2007) [74,7% PT à 80,4 % PT] et **OHM** *et al.*, (2010) [70,44 % PT et 88 % PT].

4.2.6 Ratio Gliadines / Gluténines :

Les valeurs du ratio gliadines / gluténines vont de 0,94 à 1,85 avec une moyenne de 1,54±0,28 (Fig.30). Elles sont en accord avec celles trouvées par **WIESER** *et al.*, (2004) qui sont de 1,49 à 2,30 (moyenne de 1,86), cependant elles sont inférieures à celles trouvées par **DJABER** et **SEDDI** (2012) [1,44 à 2,74 avec une moyenne de 2,32]. **RAO** *et al.*, (2001) ont rapporté des valeurs de ce ratio comprises entre 0,60 et 0,89.

Selon **FEILLET** (2000) la valeur optimale de ce ratio se situe entre 1 et 1,2. Le gluten est trop extensible lorsque ce ratio est inférieur à 0,4 et il devient dur et cassant s’il dépasse 1,5. Il en ressort que le gluten de nos échantillons est dur et cassant, ce qui explique que ces échantillons ont une ténacité élevée et par conséquent un manque d’extensibilité.

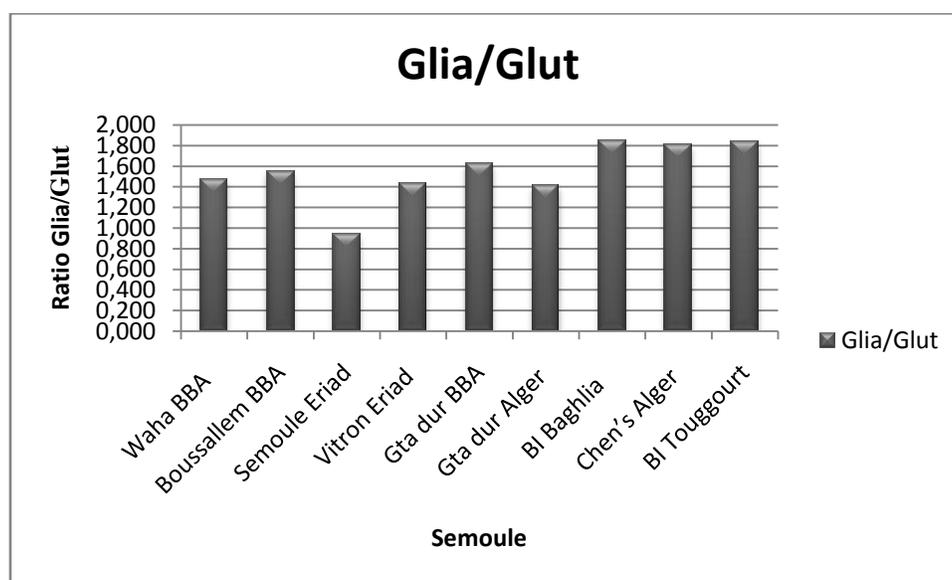


Figure 29: Ratio Gliadines / Gluténines des semoules de blé dur.

IV. CORRELATIONS ENTRE LES TESTS D'APPRECIATION DE LA QUALITE

Les relations entre les paramètres de qualité ont fait l'objet de nombreuses études sur le blé dur (**NOVARO** *et al.*, 1997; **RHARRABTI** *et al.*, 2000, 2001b).

Les associations entre les paramètres de qualité sont d'un grand intérêt dans la définition des valeurs optimales de la qualité du grain pour une région donnée et pour aider les agriculteurs à produire des variétés de bonne qualité (**RHARRABTI** *et al.*, 2003).

5.1 Corrélations entre les résultats des différents tests technologiques (Coefficient de corrélation de PEARSON « r »)

Les coefficients de corrélations de PEARSON calculés entre les résultats des différents tests technologiques sont regroupés dans le tableau n°18. De ce tableau il en ressort que :

✓ **La forceboulangère (W)** est corrélée positivement et de façon hautement significative à la ténacité P, au temps de pétrissage au mixographe ($r = 0,892$ et $r = 0,853$ respectivement), et positivement et significativement à la capacité d'hydratation du gluten ($r = 0,717$). **AMMAR** *et al.*, (2000), **MARTINEZ** *et al.*, (2005), **RAO** (2008) et **TAZEROUT** (2013) sur le blé dur ont aussi rapporté une corrélation positive et hautement significative entre la force et la ténacité.

AMMAR *et al.*, (2000) ont montré que la force est corrélée au rapport de configuration P/L et cela de manière positive et hautement significative.

MARTINEZ *et al.*, (2005) ont trouvé que la force boulangère (W) est corrélée positivement et de façon hautement significative à l'extensibilité (L) ($r = 0,64$).

CUBADDA et **CARCEA** (1994) ont révélé que la force (W) est corrélée positivement et de façon hautement significative au gonflement (G) ($r = 0,45$).

RESULTATS ET DISCUSSIONS

Tableau 18 : Corrélations entre les différents tests d'appréciation de la qualité (coefficient de **PEARSON** « r »n=9).

	W	L	P/L	Ie	TDP	Affai	GS	CH	SDS	I J	IB	D50	Sg
W					,833**			,717*					
P	,892**				,693*			,675*					
L			-,784*	-,998**					,954**				
G		,998**	-,787**	-,999**					,946**				
HC Pmax						,811**							
GH							,958**	,902**	,725*	,782*		,686*	
CH							,748*						
SDS				-,898**			,766*						
Cendres							,717*			,959**			
D50							,768*			,711*	,706*		
Sg							-,692*				-,780*	-,965**	
IJ							,859**						
AE		-,680*		,922*			-,705*		-,726*	-,701*	-,681*	-,671*	,716*

* Significantive (p<0.05), ** Hautement significantive (p<0.01)

CUBADDA et **CARCEA** (1994), **PENA** (2000), **MARTINEZ** *et al.*, (2005) **RAO** (2008) ont aussi trouvé une corrélation positive hautement significative entre la force boulangère (**W**) et le test de sédimentation SDS ($r = 0,84$; $r = 0,51$; $r = 0,87$; $r = 0,71$ respectivement).

PENA (2000), **MARTINEZ** *et al.*, (2005) ont rapporté que la force boulangère (**W**) est corrélée positivement et de façon hautement significative au temps de pétrissage ($r = 0,90$ et $r = 0,54$ respectivement), à la hauteur au pic max ($r = 0,85$ et $r = 0,44$ respectivement),

CUBADDA et **CARCEA** (1994), **PENA** (2000) et **DJABER** et **SEDDI** (2012) ont rapporté que la force **W** est corrélée positivement et significativement aux teneurs en gluten sec ($r = 0,15$; $r = 0,45$ et $r = 0,88$ respectivement).

DJABER et **SEDDI** (2012) ont trouvé que la force **W** est associée négativement et de façon significative à la capacité d'hydratation du gluten ($r = -0,92$).

✓ **La ténacité (P)** est corrélée positivement et significativement au temps de pétrissage et à la capacité d'hydratation du gluten ($r = 0,693$ et $r = 0,675$ respectivement).

RAO (2008) et **TAZEROUT** (2013) ont rapporté que la ténacité est corrélée positivement et de façon hautement significative avec le rapport de configuration P/L ($r=0,761$).

MARTINEZ *et al.*, (2005) ont rapporté une corrélation positive et hautement significative entre la ténacité (**P**) et l'extensibilité (**L**) ($r = 0,77$) contrairement à **RAO** *et al.*, (2010) qui ont trouvé une corrélation négative et significative ($r = -0,63$).

DJABER et **SEDDI** (2012) ont trouvé que la ténacité (**P**) est associée négativement et de façon significative au gonflement (**G**) ($r = -0,95$).

RAO (2008) a rapporté une corrélation négative et significative entre la ténacité (**P**) et le gluten humide.

MARTINEZ *et al.*, (2005) ont trouvé que la ténacité (**P**) est corrélée positivement et de façon hautement significative au test SDS, au temps de pétrissage, à la hauteur au pic max ($r = 0,82$; $r = 0,85$; $r = 0,91$), mais négativement et de façon hautement significative à l'affaiblissement ($r = - 0,85$).

✓ **L'extensibilité (L)** est corrélée positivement et de façon hautement significative au gonflement (**G**) et au test SDS ($r = 0,998$; $r = 0,954$) mais négativement et de façon hautement significative à l'indice d'élasticité (**Ie**) et négativement et seulement significativement au rapport de configuration (**P/L**) ($r = -0,998$ et $r = - 0,784$ respectivement).

RAO *et al.*, (2010), **DJABER** et **SEDDI** (2012) ont rapporté une corrélation négative et hautement significative entre l'extensibilité (**L**) et le rapport de configuration **P/L** ($r = - 0,87$ et $r = -0,83$ respectivement).

MARTINEZ *et al.*, (2005) ont trouvé que l'extensibilité (**L**) est corrélée positivement et de façon hautement significative au test SDS, au temps de pétrissage, à la hauteur au pic max ($r = 0,66$; $r = 0,79$; $r = 0,72$), mais négativement et de façon hautement significative à l'affaiblissement ($r = - 0,90$).

RAO (2008) a rapporté une corrélation positive et hautement significative entre le gluten sec et humide et l'élasticité (**L**).

✓ **Le gonflement (G)** est relié négativement et de façon hautement significative à l'indice d'élasticité ($r = -0,999$), négativement et significativement au rapport de configuration **P/L** ($r = -0,787$), et positivement et de façon hautement significative au test SDS ($r = 0,946$).

CUBADDA et **CARCEA** (1994) ont trouvé que le gonflement (**G**) est corrélée positivement et de façon hautement significative au gluten sec ($r = 0,52$) et positivement et de façon juste significative au test SDS ($r = 0,4$).

TAZEROUT (2013) a trouvé que le gonflement (**G**) est corrélé positivement et de manière significative à l'extensibilité **L** et l'indice d'élasticité **Ie** ($r = 0,630$, $r = 0,767$

RESULTATS ET DISCUSSIONS

respectivement) et négativement et significativement corrélé au rapport de configuration P/L ($r = -0,598$).

✓ Des corrélations négatives et hautement significatives ont été trouvées entre l'indice d'élasticité I_e et les volumes de sédimentation SDS ($r = -0,898$).

✓ **Les hauteurs des courbes au pic max** au mixographe sont associées positivement et de manière hautement significative à l'affaiblissement ($r = 0,811$). Ces résultats rejoignent ceux de **MARTINANT *et al.***, (1998), **MARTINEZ *et al.***, (2005) et **RAO** (2008) avec des coefficients de corrélation ($r = 0,77$; $r = 0,78$ et $r = 0,76$) respectivement.

MARTINANT *et al.*, (1998) ont rapporté des corrélations négatives entre le temps de pétrissage d'une part et la hauteur de la courbe au pic max et l'affaiblissement d'autre part ($r = -0,53$ $P < 0.01$ et $r = -0,83$ $P < 0.001$). Ils ont également trouvé une relation positive et très significative des hauteurs des courbes au pic max au mixographe avec la granulométrie et les teneurs en amidon endommagé ($r = 0,57$ et $r = 0,52$ respectivement).

MARTINEZ *et al.*, (2005) ont rapporté que le temps de pétrissage au mixographe présente des relations positives et hautement significatives avec la hauteur de la courbe au pic max ($r = 0,88$), et négatives et hautement significatives avec l'affaiblissement ($r = -0,86$).

✓ **Les teneurs en gluten sec et en gluten humide** sont corrélées positivement et de manière hautement significative entre elles ($r = 0,958$). Ceci est en accord général avec les résultats rapportés par **RAO** (2008) ; **AIT SIDHOUM** et **BENDJABEUR** (2009) ; **DJABER** et **SEDDI** (2012) ; **TAZEROUT** (2013) [$r = 0,94$; $r = 0,95$; $r = 0,91$; $r = 0,958$ respectivement].

Les teneurs en gluten humide sont associées positivement et de façon hautement significative à la capacité d'hydratation ($r = 0,902$) et positivement et de façon seulement significative aux volumes de sédimentation SDS, à la granulométrie médiane (D50), et à l'indice de jaune ($r = 0,725$; $r = 0,686$ et $r = 0,782$ respectivement).

RESULTATS ET DISCUSSIONS

Les teneurs en gluten sec sont corrélées positivement et significativement à la capacité d'hydratation du gluten, au test SDS, à la granulométrie médiane (D50) et à la teneur en cendres ($r = 0,748$; $r = 0,766$; $r = 0,768$ et $r = 0,717$ respectivement), positivement et de façon hautement significative à l'indice de jaune ($r = 0,859$) mais négativement et significativement à l'écart géométrique des semoules (Sg) et à la teneur en amidon endommagé ($r = -0,692$ et $r = -0,705$ respectivement).

TAZEROUT (2013) a rapporté que le gluten sec et le gluten humide sont positivement corrélés et de manière hautement significative à la force W et à la ténacité P avec des coefficients de corrélation de ($r = 0,763$, $r = 0,849$) respectivement pour le gluten sec et ($r = 0,819$, $r = 0,837$) pour le gluten humide. Aussi, le gluten sec est positivement et significativement corrélé au rapport de configuration P/L ($r = 0,543$).

OKANDZA (2000) a trouvé des corrélations positives entre le gluten humide et la hauteur de développement ($r = 0,57$, $P < 0,05$).

DJABER et **SEDDI** (2012) ont également rapporté une relation négative et significative entre le gluten sec et la capacité d'hydratation ($r = -0,82$).

PENA (2000) a rapporté que le gluten sec et le gluten humide sont positivement corrélés à la hauteur de la courbe au pic max au mixographe ($r = 0,60$ $P < 0,01$ et $r = 0,64$ $P < 0,01$ respectivement) mais inversement corrélés au temps de pétrissage ($r = -0,28$ $P < 0,01$ et $r = -0,27$ $P < 0,01$ respectivement).

✓ **Les volumes de sédimentation SDS** sont associés négativement et significativement aux teneurs en amidon endommagé ($r = -0,726$).

MARTINEZ et al., (2005) ont trouvé des corrélations positives et hautement significatives des volumes de sédimentation SDS avec le temps de pétrissage et la hauteur au pic max ($r = 0,83$; $r = 0,78$), et négatives et hautement significatives avec l'affaiblissement ($r = -0,76$).

RHARRABTI et al., (2003) ont rapporté une corrélation négative ($-0,680$ $P < 0,05$) entre la teneur en cendres et les volumes de sédimentation SDS.

DJABER et **SEDDI** (2012) ont également rapporté une relation négative et significative entre le gluten sec et le test SDS ($r = -0,79$) et positive et significative entre ce dernier et la capacité d'hydratation du gluten ($r = 0,73$).

✓ Les valeurs de l'indice de brun sont corrélées positivement et significativement à la granulométrie médiane (D50) [$r = 0,706$] mais négativement et significativement à l'écart géométrique et à la teneur en amidon endommagé ($r = -0,780$ et $r = -0,681$ respectivement).

Les valeurs élevées de l'indice de brun sont dues probablement aux proportions relatives élevées des particules fines **FOIS** *et al.*, (2011).

Quoique le (L^*) doit baisser avec l'augmentation de la teneur en cendres, cet effet est favorisé par la taille fine des particules et l'augmentation de l'amidon endommagé **MANTHEY** et **HARELAND** (2001).

Les valeurs de l'indice de jaune sont associées positivement et de façon hautement significative aux teneurs en cendres ($r = 0,959$), et positivement et significativement à la granulométrie médiane (D50) [$r = 0,711$], mais négativement et significativement à la teneur en amidon endommagé ($r = -0,701$).

MATSUO *et* **DEXTER** (1980a) ont rapporté une corrélation positive entre l'indice de jaune et la teneur en cendres des semoules.

RHARRABTI *et al.*, (2003) ont rapporté une corrélation négative ($r = -0,710$ $P < 0,05$) entre la teneur en cendres et la teneur en pigment caroténoïdes.

✓ Des corrélations négatives et hautement significatives ont été trouvées entre la granulométrie médiane (D50) et l'écart géométrique des semoules ($r = -0,965$).

BOYACIOGLU et **UNAL** (1992) ont rapporté une corrélation négative et hautement significative entre la taille des particules d'une part et la teneur en cendres, en gluten sec et en gluten humide d'autre part ($r = -0,75$; $r = -0,74$ et $r = -0,82$ respectivement). Ils ont également trouvé que la teneur en pigment caroténoïdes des fractions de semoule augmentent avec la diminution de la taille des particules ($r = -0,85$).

RESULTATS ET DISCUSSIONS

Selon **HEBRARD** *et al.*, (2003) la différence de distribution de la taille des particules de la semoule a une grande influence sur les propriétés d'hydratation de la semoule.

✓ Les teneurs en amidon endommagé sont corrélées positivement et significativement à l'indice d'élasticité (Ie) ($r = 0,922$) mais négativement et significativement à l'extensibilité (L) [$r = -0,680$].

PRESTON *et al.*, (1987) ont rapporté que l'amidon endommagé est associé positivement et très significativement aux paramètres alvéographiques W, P, P/L ($r = 0,99$; $r = 0,99$; $r = 0,98$ respectivement), mais négativement aux G et L ($r = -0,99$ et $r = -0,98$ respectivement).

Les valeurs élevées de l'amidon endommagé chez les blés durs expliquent la forte ténacité (P) qui est due à leur forte absorption d'eau et la rigidité élevée de la pâte ce qui donne des hautes courbes alvéographiques (**DEXTER** *et al.*, 1994).

Des relations positives et significatives associent les teneurs en amidon endommagé des semoules à l'écart géométrique ($r = 0,716$), alors que d'autres relations négatives et significatives les associent à la granulométrie médiane ($r = -0,671$).

MARTINANT *et al.*, (1998) ont rapporté une corrélation positive ($P < 0,001$) entre la granulométrie et le taux d'amidon endommagé ($r = 0,93$).

Selon **HEBRARD** *et al.*, (2003) la différence de la teneur en amidon endommagé a une grande influence sur les propriétés d'hydratation de la semoule.

L'amidon endommagé augmente progressivement de grosses aux fines granules de semoule (**SAPIRSTEIN** *et al.*, 2007)

5.2. Corrélations entre les résultats des différents tests technologiques et les teneurs en protéines des différentes fractions protéiques (Coefficient de corrélation de PEARSON « r »)

Le tableau 19 rassemble les résultats des corrélations de PEARSON obtenues entre les paramètres technologiques et les teneurs en protéines des différentes fractions protéiques.

Tableau 19 : Coefficients de corrélations entre les paramètres technologiques et les teneurs en protéines des différentes fractions protéiques (coefficient de PEARSON « r » n=9).

	PT	AG	Gliad.	Glut. Sol.	Prot. Ins.
W				-,739*	,936**
P				-,770*	,809**
L	,751*	-,678*			
G	,738*	-,682*			
P/L		,718*			
Ie			,935*		
TDP				-,699*	,791*
GS	,708*		-,862**		
GH			-,833**		
CH					,698*
SDS	,704*				
D50			-,680*		
IB				,671*	
IJ			-,760*		

* Significative (p<0.05), ** Hautement significative (p<0.01)

✓ Les teneurs en protéines totales sont associées positivement et significativement aux L et G alvéographiques, au gluten sec et aux volumes de sédimentation SDS (r = 0,751 ; r = 0,738 ; r = 0,708 ; r = 0,704 respectivement).

TAZEROUT (2013) a observé des corrélations positives et significatives entre les protéines totales, la ténacité P de la pâte (r = 0,570), cette fraction présente aussi des corrélations positives hautement significatives avec le gluten humide GH et le gluten sec GS (r=0,699-r=0,789.)

CUBADDA et **CARCEA** (1994) et **PENA** (2000) ont rapporté que la force W est corrélée positivement et de façon hautement significative à la teneur en protéines ($r = 0,42$ et $r = 0,28$ respectivement).

FLAGELLA *et al.*, (2010) ont trouvé une corrélation positive entre les volumes de sédimentation SDS et la teneur en protéines totales ($r = 0,33$; $P < 0,05$) également rapportés par [**FLAGELLA** *et al.*, (2002), **AMES** *et al.*, (2003) et **CLARKE** *et al.*, (2004)].

RHARRABTI *et al.*, (2003) ont trouvé dans leur étude une relation inverse et intéressante ($-0,683$ $P < 0,05$) entre la teneur en protéines et le volume de sédimentation SDS, confirmant ainsi les résultats de plusieurs auteurs (**MICHELENA** *et al.*, 1995; **BOGGINI** *et al.*, 1997; **NOVARO** *et al.*, 1997) sous conditions méditerranéennes. Ce résultat différent peut être expliqué par la relation entre le volume de sédimentation SDS, la quantité de protéines et la force de gluten.

PASHA *et al.*, (2007) et **RAO** (2008) ont trouvé que le gluten humide et le gluten sec étaient corrélés à la teneur en protéines de la semoule avec des coefficients de corrélation allant de 0.68 ($P < 0.01$) ; 0,50 ($P < 0,05$) à 0.69 ($P < 0.01$) ; 0,52 ($P < 0,05$) respectivement.

MARTINANT *et al.*, (1998) et **MARTINEZ** *et al.*, (2005) ont rapporté que les teneurs en protéines totales sont corrélées positivement et de façon hautement significative au temps de pétrissage, à la hauteur de la courbe au pic max et à l'affaiblissement ($r = -0,43$ et $r = 0,28$; $r = 0,59$ et $r = 0,62$; $r = 0,28$ et $r = 0,64$ respectivement).

MARTINANT *et al.*, (1998) ont rapporté des relations positives entre les teneurs en protéines totales d'une part et les teneurs en gliadines et en gluténines d'autre part ($r = 0,82$ $P < 0,001$ et $r = 0,80$ $P < 0,001$). Ces mêmes auteurs ont trouvé une corrélation négative et hautement significative entre les teneurs en protéines totales et les teneurs en protéines non extractibles ($r = -0,42$).

✓ Les teneurs en albumines-globulines sont associées négativement et significativement aux L et G alvéographiques ($r = -0,678$ et $r = -0,682$ respectivement), mais positivement et significativement au rapport de configuration P/L ($r = 0,718$).

MARTINANT *et al.*, (1998) ont trouvé que les teneurs en albumines-globulines sont associées positivement et de manière hautement significative à l'affaiblissement ($r = 0,41$). Ces auteurs ont également rapporté que les teneurs en albumines-globulines sont associées positivement aux teneurs en gliadine ($r = 0,79$ $P < 0,001$) mais négativement et très significativement aux teneurs en protéines non extractibles ($r = -0,53$).

Des corrélations négatives et significatives entre les forces W et les teneurs en albumines-globulines ont été aussi rapportées par **DJABER** et **SEDDI** (2012).

✓ Des relations négatives et hautement significatives entre les teneurs en gliadines et les teneurs en gluten sec et en gluten humide ($r = -0,862$ et $r = -0,833$ respectivement), des relations négatives et significatives entre la granulométrie médiane (D50) et l'indice de jaune ($r = -0,680$ et $r = -0,760$ respectivement), mais une relation positive et significative a été observée entre les gliadines et l'indice d'élasticité (Ie) [$r = 0,935$].

TAZEROUT (2013) a rapporté que Les teneurs en protéines monomériques (majoritairement les gliadines) par rapport aux protéines totales sont corrélées négativement et significativement à quelques paramètres de force : W alvéographique et la ténacité P et aussi au gluten humide (GH) avec des coefficients ($r = -0,635$, $r = -0,645$, $r = -0,536$) respectivement.

DJABER et **SEDDI** (2012) ont observé une relation positive et significative entre les teneurs en gliadines et la capacité d'hydratation du gluten ($r = 0,81$).

MARTINANT *et al.*, (1998) ont trouvé que les teneurs en gliadines sont corrélées négativement et de façon hautement significative au temps de pétrissage au mixographe ($r = -0,46$) mais positivement à la hauteur de la courbe au pic max et à l'affaiblissement ($r = 0,63$ $P < 0,001$ et $r = 0,63$ $P < 0,001$ respectivement). Ils ont également observé que les teneurs en gliadines sont associées positivement aux teneurs

en gluténines ($r = 0,64$ $P < 0,001$), mais négativement et de façon hautement significative aux teneurs en protéines non extractibles ($r = -0,41$).

PANOZZO et **EAGLES** (2000) et **SAINT PIERRE** *et al.*, (2008) ont observé une augmentation de la proportion de gliadines avec l'augmentation de la teneur en protéines.

SAPIRSTEIN *et al.*, (2007) ont rapporté que la fraction des protéines monomériques solubles dans le propanol est fortement corrélée ($P < 0,01$) à la teneur en protéines

L'absence d'une forte corrélation entre les teneurs en gliadines et les indices technologiques était en agrément avec **JOHANSSON** *et al.*, (2001) et **WIESER** et **KIEFFER** (2001) qui ont rapporté que les teneurs en gliadines ne sont reliées à aucune propriété rhéologique de la pâte et du gluten.

✓ Les teneurs en gluténines solubles sont corrélées négativement est significativement à quelques paramètres de force : W alvéographique et la ténacité P et aussi au temps de pétrissage au mixographe avec des coefficients ($r = -0,739$; $r = -0,770$ et $r = -0,699$ respectivement).

TAZEROUT (2013) a trouvé que les teneurs en gluténines solubles par rapport à la matière sèche sont corrélées positivement et significativement avec la ténacité (P), le rapport P/L, et le gluten sec ($r=0,598$; $r=0,589$; $r = 0,629$), mais négativement et de manière hautement significative à l'affaiblissement ($r= -0,827$).

Pour **BEKES** *et al.*, (1995) le temps de pétrissage est le paramètre le plus fortement lié à la taille des polymères de gluténines.

FLAGELLA *et al.*, (2010) ont observé que les volumes de sédimentation SDS sont corrélés positivement et de façon hautement significative aux teneurs en gluténines ($r = 0,55$).

✓ Les teneurs en protéines insolubles sont corrélées positivement et de façon hautement significative aux W et L alvéographiques ($r = 0,936$ et $r = 0,809$

respectivement), et positivement et significativement au temps de pétrissage au mixographe et à la capacité d'hydratation du gluten ($r = 0,791$ et $r = 0,698$ respectivement)

TAZEROUT (2013) a rapporté que le résidu protéique insoluble par rapport aux protéines totales est corrélé négativement et significativement avec le temps de développement de la pâte ($r = -0,542$).

FLAGELLA et al., (2010) ont trouvé que les volumes de sédimentation SDS sont corrélés positivement et de façon hautement significative aux teneurs en protéines polymériques non extractibles ($r = 0,44$).

Selon **OHM et al.**, (2010) les protéines polymériques insolubles ont montré de fortes corrélations positives et significatives avec les scores au mixographe

SAPIRSTEIN et al., (2007) ont rapporté que la force W en particulier et la ténacité P sont fortement corrélées ($P < 0,01$) aux gluténines insolubles ($r = 0,90$ et $r = 0,76$ respectivement). Selon eux l'élasticité et la ténacité de la pâte mesurées par l'alvéographe augmente avec la force du gluten et la teneur en gluténines insolubles.

MARTINANT et al., (1998) ont trouvé que les teneurs en protéines non extractibles sont associées positivement au temps de pétrissage, aux hauteurs des courbes au pic max ($r = 0,72$ $P < 0,001$ et $r = 0,57$ $P < 0,01$ respectivement) mais négativement à l'affaiblissement ($r = -0,72$ $P < 0,001$).

La forte corrélation positive entre les paramètres de force et la teneur en protéines polymériques non extractibles souligne le rôle clé que joue ces composantes dans la qualité technologique du blé dur (**FLAGELLA et al.**, 2010).

✓ Cependant, en accord avec notre résultat **PECHANNEK et al.**, (1997) n'ont pas trouvé de relation entre les protéines de la farine et le ratio gliadines / gluténines.

Conclusion

CONCLUSION

Dans ce travail nous avons d'une part quantifié un certain nombre de fractions protéiques (albumines-globulines, gliadines, gluténines solubles) en utilisant une méthode simple de fractionnement séquentiel et en dosant leur teneur en protéines par turbidimétrie et déterminé d'autre part certaines caractéristiques technologiques d'un certain nombre de génotype de blé dur algérien. Ceci nous a permis de déterminer les relations possibles entre les teneurs en protéines de différentes fractions protéiques et certaines caractéristiques technologiques des semoules.

Les résultats de cette étude nous permettent de tirer les conclusions suivantes

1/Concernant les caractéristiques physiques

✓ Les génotypes étudiés sont caractérisés dans l'ensemble par des PMG moyens, une vitrosité élevée et un degré de moucheture faible. Ces caractéristiques sont très influencées par les conditions culturales.

✓ La majorité des génotypes ont donné des taux d'extraction légèrement faibles compris entre 56,59% et 59,21%, à l'exception de 3 génotypes qui ont donné des taux d'extraction compris entre 61,02% et 64,51%. Le taux d'extraction dépend largement de la variété mise en œuvre, du conditionnement et des conditions de mouture.

✓ Les semoules extraites présentent des taux de cendres ne dépassant pas le seuil fixé par la réglementation algérienne (qui est de 1% MS). Ces valeurs sont influencées par l'origine génétique et les conditions de culture et de récolte.

✓ Pour la coloration des semoules, l'ensemble des semoules étudiées présentent des indices de jaune (IJ) faibles et des indices de brun (IB) corrects. L'indice de jaune dépend essentiellement du génotype alors que l'indice de brun est influencé par les conditions agroclimatiques.

✓ La granulométrie est moyenne et homogène dans l'ensemble.

2/Concernant les caractéristiques technologiques

L'appréciation de la qualité boulangère de nos génotypes par les tests technologiques est semblable d'un test à un autre. Le test de sédimentation SDS a montré

CONCLUSION

que tous les génotypes étudiés sont de faible à très faible force, les paramètres du gluten les classent comme étant des blés durs à faible gluten, alors que les paramètres du mixographe classent la majorité de ces génotypes comme des blés de force faible à moyenne.

Les semoules de blé dur présentent des taux d'amidon endommagé compris dans la fourchette tolérée pour assurer un gazage adéquat durant la fermentation. Les teneurs en amidon total sont élevées pour l'ensemble des échantillons assurant aux semoules de bonnes qualités fermentatives.

Au niveau des caractéristiques alvéographiques, les résultats obtenus ont montré que :

- 6 échantillons de blé dur étudiés sont des blés panifiables courants, 3 sont des blés impanifiables, et la semoule d'Eriad présente un bon gonflement et un rapport de configuration P/L équilibré.
- De façon plus générale, la quasi-totalité des génotypes étudiés se caractérisent par des gonflements G faibles (inférieur à 20) et des rapports de configuration P/L déséquilibrés.
- Les indices d'élasticité de la majorité des échantillons étudiés sont supérieurs à 55 donc élevés, 4 ont donné des I_e incalculables (extensibilité $L < 40$).

3/Concernant les caractéristiques biochimiques

❖ Les génotypes étudiés présentent des teneurs en protéines totales allant de 11,17% à 14,10% (%MS) avec une moyenne de 12,55% $\pm 1,17$.

❖ Pour les semoules soumises au fractionnement séquentiel des protéines, ils ont présenté :

- Des teneurs en albumines-globulines qui oscillent entre 17,20% et 22,91% (% PT);
- Des teneurs en gliadines comprises entre 29,7% et 38,54% (% PT);
- Des teneurs en gluténines solubles allant de 17,87% et 31,58% (% PT);
- Des teneurs en résidus protéiques insolubles variant entre 14,88% et 28,41% (% PT);

CONCLUSION

- Des teneurs en protéines solubles entre 71,59% et 85,12% (% PT);
- Des teneurs en ratio gliadines/ gluténines comprises entre 0,94 et 1,85.

4/ Au niveau des corrélations effectuées entre les tests technologiques :

- On constate des relations étroites entre les différents paramètres alvéographiques et entre ces derniers et : le temps de développement de la pâte au mixographe, le test de sédimentation en milieu SDS et les paramètres du gluten.
- Les teneurs en gluten sec et en gluten humide présentent entre eux une corrélation positive et hautement significative.
- Les teneurs en amidon endommagé sont associées négativement et significativement aux volumes de sédimentation SDS et à l'extensibilité (L), mais positivement et significativement à l'indice d'élasticité (Ie).

5/En ce qui concerne l'étude des corrélations entre les tests technologiques et les fractions protéiques, les résultats obtenus ont confirmé la relation qui existe entre les teneurs en protéines insolubles et les tests d'appréciation de la force des semoules.

- C'est ainsi que les teneurs en protéines insolubles sont corrélées positivement et d'une manière hautement significative aux W et L alvéographiques, et positivement et significativement au temps de développement de la pâte au mixographe et à la capacité d'hydratation du gluten.
- Les teneurs en protéines totales sont associées positivement et significativement aux L et G alvéographiques, au gluten sec et aux volumes de sédimentation SDS.
- Les teneurs en albumines-globulines sont reliées négativement et significativement aux L et G alvéographiques, mais positivement et significativement au rapport de configuration (P/L).
- Les teneurs en gluten sec et en gluten humide, la granulométrie médiane (D50) et l'indice de jaune sont associés positivement et significativement aux teneurs en gliadines. Ces dernières sont corrélées positivement et significativement à l'indice d'élasticité (Ie).

CONCLUSION

- Les W alvéographiques, les ténacités P et les temps de pétrissage au mixographe sont associés négativement et significativement aux teneurs en gluténines solubles.

A partir des corrélations effectuées entre les différents tests d'appréciation de la qualité des semoules de blé dur étudiées, on peut conclure que les teneurs en protéines totales (%MS) et en protéines insolubles (%PT) sont ceux qui déterminent les caractéristiques de force des semoules des blés durs. A l'inverse les protéines solubles (regroupant les protéines monomériques et les gluténines solubles) ont un effet négatif sur cette caractéristique.

Néanmoins, d'autres travaux sont nécessaires pour mieux évaluer la valeur technologique des blés durs entre autres :

- ✓ L'étude des bases génétiques de la variabilité de la composition protéique sur un nombre plus élevé de variétés et sur plusieurs lieux de culture en vue d'identifier les marqueurs de qualité.
- ✓ L'optimisation et la réalisation d'essais de panification sur les différentes semoules de blé dur.
- ✓ L'ajout d'améliorants (par exp. Le malt) pour accroître les propriétés fermentatives des semoules de blé dur.
- ✓ La réalisation coupages entre les semoules de blé dur et les farines de blé tendre à des proportions différentes.

Références bibliographiques

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

A

- AAMODT A., MAGNUS E.M., FAERGESTAD E.M., 2005. Hearth bread characteristics: effect of protein quality, protein content, whole meal flour, DATEM, proving time, and their interaction. *Cereal Chemistry*, vol.82, n.3, p.p. 290-301.
- ABECASSIS J., 1987. La mouture d'essai de blé dur. Recherches et applications industrielles. Mémoire d'ingénieur. Ed. *Ensmic*.
- ABECASSIS J., 1991. La mouture du blé dur *In* : Les industries de première transformation. **GODON, B. et FRANGNE, R.** Ed *Tech & Doc*, Paris : 362-396.
- ABECASSIS J., 1993. Nouvelles possibilités d'apprécier la valeur meunière et la valeur semoulière des blés. *Industries des céréales*, n.8, pp. 25-37.
- ABECASSIS J., CHAURAND M., 1997. Appréciation de la valeur d'utilisation du blé dur en semoulerie et pastification. *In* : Guide pratique d'analyses dans les industries des céréales. Ed *Tech & Doc, Lavoisier*, Paris. 2ème édition : 746-774.
- ABECASSIS J., FEILLET P., 1985. Pureté des semoules de blé dur, taux de cendres et réglementation. *Industrie des céréales*, vol.36, p.p. 13-18.
- ABECASSIS J., CHAURAND M., LAIGNELET T., 2010. Couscous, boulgour et polenta : procédés actuels et produits de la transformation industrielle des céréales.
- ADRIAN J., 1994. Composition et valeur nutritionnelle du pain *In* : GUINET, R. et GODON, B. Panification française. *Lavoisier Tech Doc*, p.p.480-489.
- AIT SIDHOUM AMER, BENDJABEUR SALAH, 2009. Appréciation de la qualité technologique de quelques variétés et lignées de blé dur nouvellement introduites en Algérie. Mémoire d'ingénieur, *E.N.S.A.*, El-Harrach, Algérie, 80p.
- AMES NP, CLARKE JM, DEXTER JE, WOODS SM, SELLES F, MARCHYLO B., 2003. Effects of nitrogen fertilizer on protein quantity and gluten strength parameters in durum wheat (*Triticum turgidum* L. var. durum) cultivars of variable gluten strength. *Cereal Chem.* vol.80, n. 2, p.p. 203–211.
- AMIOUR N., BENBELKACEM A., KHELIFI D., BRAULARD. G., 2002. Storage protein diversity in hexaploid triticales grown in Algeria. *Proceedings of the 5th International Triticale Symposium*. vol. 2: II. Radzikow. Poland, p.p. 427-432.
- AMMAR K., KRONSTAD W. E., MORRIS C. F., 2000. Breadmaking quality of selected durum wheat genotypes and its relationship with high molecular weight glutenin

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

subunits allelic variation and gluten protein polymeric composition. *Cereal Chemistry*, n. 77, p.p. 230-236.

-**AMMOUCHE Z.**, 2002. Etude biochimique et de la valeur nutritive de quelques légumineuses (fève, Fèverole, et pois chiche) : Possibilité d'incorporation dans les produits céréaliers. Mémoire de Magister, *E.N.S.A.*, El-Harrach, Algérie, 87p.

-**ANALIA V. G., EVELINA F., MARIA C. A., MARIA C. P.**, 2012. Analysis of soluble proteins/aggregates derived from gluten-emulsifiers systems. *Food Research International*, n.46, p.p. 62-68.

-**APFELBAUM, M. FORRAT, C., NILLUS, P.**, 1981. Diététique et nutrition. *Ed Masson*, Paris : 472 p.

-**AUTRAN J. C.**, 1996. La qualité culinaire: de quoi est-elle faite. *Coll. Perspectives blé dur*. Toulouse, France: 57-71.

-**AUTRAN, J.C., GALTERIO, G.**, 1989. Associations between electrophoretic composition of proteins, quality characteristics and agronomic attributes of durum wheats. II. Protein-quality associations. *Journal of Cereal Science*: n.9, p.p. 195–215.

-**AXFORD D. W. E., MCDERMOTT E. F., REDMAN D. G.**, 1978. Small scale tests of breadmaking quality. *Milling Feed Fertiliser*, vol. 161, n.5, p.p. 18-20.

-**AXFORD D. W. E, MCDERMOTT EE, REDMAN DG**, 1979. Note on the sodium dodecyl sulfate test of breadmaking quality: comparison with Pelshenke and Zeleny tests. *Cereal Chem*, vol. 56, p.p. 582–584.

B

-**BAENZIGER P.S., CLEMENTS R.L., MCINTOSH M.S., YAMAZAKI W.T., STARLING T.M., SAMMONS D.J., JOHNSON J.W.**, 1992. Effect of cultivar, environment and their interaction and stability analyses on milling and baking quality of soft red winter wheat. *Crop Science*, vol.25, p.p. 5-8.

-**BAIANO ANTONIETTA, ROMANIELLO ROBERTO, LAMACCHIA CARMELA, LA NOTTE ENNIO**, 2009. Physical and mechanical properties of bread loaves produced by incorporation of two types of toasted durum wheat flour. *Journal of Food Engineering*, vol.95, p.p. 199–207.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- BARRON C. M., SAMSON M. F., LULLIEN-PELLERIN V., ROUAUX X.,** 2011. Wheat grain tissue proportions in milling fractions using biochemical marker measurements: Application to different wheat cultivars. *Journal of Cereal Science*, n. 53, p.p. 306-31.
- BASS E.J.,** 1988. Wheat flour milling. Pages 1-68 in: Wheat: Chemistry and Technology. Volume II. 3rd edition. Y. Pomeranz, ed. *American Association of Cereal Chemists, Inc.*, St. Paul, Minnesota, USA.
- BEKES, F., GRAS, P.W., GUPTA, R.B.,** 1995. The effects of purified cereal polypeptides on the mixing properties of dough. In: Williams, Y.A., Wrigley, C.W. (Eds.), *Proceedings of the 45th Australian Cereal Chemistry Conference*. Royal Australian Chemical Institute, North Melbourne, p.p. 92–98.
- BENBELKACEM, A. SADLI, F., BRINIS, L.,** 1995. La recherche pour la qualité des blés durs en Algérie *In : La qualité du blé dur dans la région méditerranéenne. DIPONZO, N. et KAANF NACHIT, M. Ed CIHEAM*, Espagne, p.p. 61-65.
- BENMEBAREK H.,** 2004. Diversité des gluténines HPM, sécalines HPM et 75 γ -sécalines d'une collection du CIMMYT de triticales hexaploïdes. Mémoire de Magistère, *Université Mentouri*. Constantine. 69p.
- BERLAND S., ROUSSEL P.,** 2005. Qualité technologique. Document de École Nationale Supérieure de Meunerie et des Industries Céréalières (ENSMIC), Surgères, France.
- BETTGE, A.D., MORRIS, C.F., GREENBLATT, G.A.,** 1995. Assessing genotypic softness in single wheat kernels using starch granule-associated friabilin as biochemical marker. *Euphytica*, vol.86, p.p. 65-72.
- BOCKSTAELE F. V., LEYN I. D., EECKHOUT M., DEWETTINCK K.,** 2008. Rheological properties of wheat flour dough and the relationship with bread volume. I. creep-recovery measurements. *Cereal Chemistry*, vol.85, n.6, p.p. 753-761.
- BOGGINI, G., DOUST, M.A., ANNICCHIARICO, P., PECETTI, L.,** 1997. Yielding ability, yield stability, and quality of exotic durum wheat germplasm in Sicily. *Plant Breed.*, vol.116, p.p. 541–545.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- BORDES, J., BRANLARD, G., OURY, F.X., CHARMET, G., BALFOURIER, F.,** 2008. Agronomic characteristics, grain quality and flour rheology of 372 breadwheats in a worldwide core collection. *Journal of Cereal Science*, vol.48, p.p. 569-579.
- BOURDET A.,** 1976. Nécessité d'une harmonisation des Critères de jugement de la valeur boulangère des blés de la sélection à l'utilisation. *Tech. Ind. Céréal.*, vol. 158, p.p. 3-11.
- BORRELLI G.M., DE LEONARDIS A.M., PLATANI C., TROCCOLI A.,** 2008. Distribution along durum wheat kernel of the components involved in semolina colour. *Journal of Cereal Science*, vol.48, p.p. 494-502.
- BOYACIOGLU M. HIKMET, UNAL S. SEZGIN,** 1992. Effect of particle size on mineral constituents and pigment content of semolina. *Pasta J.*, vol.74, n.3, p.p. 40-44.
- BOYACIOGLU M. H., D'APPOLONIA B. L.,** 1994a. Durum wheat and bread products. *Cereal Foods World*, vol.39, p.p.168-174.
- BOYACIOGLU M. H., D'APPOLONIA B. L.,** 1994b. Characterization and utilization of durum wheat for breadmaking. III Staling properties of bread baked from bread wheat flours and durum wheat flours. *Cereal Chemistry*, vol. 71, p.p. 34-41.
- BOYACIOGLU M. H., D'APPOLONIA B. L.,** 1994. Characterization and utilization of durum wheat for breadmaking. I Comparison of Chemical, Rheological and Baking Properties Between Bread Wheat Flours and Durum Wheat Flours. *Cereal Chemistry*, vol.71, n.1, p.p. 21-28.
- BRADY P.C., CRAIG F. M., ANDERSON J. A.,** 1999. Optimizing the SDS sedimentation test for end-use quality selection in soft white and club wheat breeding program. *Cereal chem.*, vol.76, n.6, p.p. 907-911.
- BRANLARD G., AUTRAN J. C.,** 1986. L'amélioration génétique de la qualité technologique du blé tendre. *Culture technique*, vol.16, p.p. 132-144.
- BRANLARD G., DARDEVET M.,** 1985. Diversity of grain protein and bread quality, correlation between high molecular weight subunits of glutenin and flour quality characteristics. *Journal of Cereal Science*, vol. 3, p.p. 345-354.
- BRANLARD, G., DARDEVET, M., SACCOMANO, R., LAGUOTTE, F., GOURDON, J.,** 2001. Genetic diversity of wheat storage proteins and bread wheat quality. *Euphytica*, vol. 119, p.p. 59-67.

- CALVEL R.**, 1980. La boulangerie moderne. 9^{ème} Ed. *Eyrolles*, Paris, p.p.11-64.
- CAMPBELL, G. M.**, 2003. Bread aeration. In S. P. Cauvain (Ed.), *Breadmaking: Improving quality* (pp. 352–374). Cambridge: Woodhead.
- CHAKRABORTY K., KHAN K.**, 1988b. Biochemical and bread-making properties of wheat protein components. II. Reconstitution baking studies of protein fractions from various isolation procedures. *Cereal Chemistry*, vol.65, p.p.340-344.
- CHAURAND, M., RIPETTI-BALLESTER, V., ROUMET, P.**, 2000. Prédiction du rendement en semoule par spectroscopie proche infrarouge sur grains entiers. In: Durum wheat improvement in the Mediterranean region: new challenges. Araus J.L., Di Fonzo N., Nachit M.M., Royo C.(éds). CIHEAM/CYMMIT/ICARDA/IRTA, Zaragoza (Espagne), 12-14 Avril 2000. Options méditerranéennes, Série A: Séminaires méditerranéennes, n.40, p.501-503.
- CHUNG O.K., OHM J.B., CALEY M.S., SEABOURN B.W.**, 2001. Prediction of baking characteristics of hard winter wheat flours using computer analysed mixograph parameters. *Cereal Chemistry*, vol.78, p.p. 493-497.
- CLARKE F.R., CLARKE J.M., AMES N.A., KNOX R.E.**, 2004. Environmental effects on measurement of gluten index and SDS sedimentation volume in durum wheat. In: The proceedings of the 8th Gluten Workshop, 8-10 September 2003. Viterbo (Italy). The gluten proteins. Cambridge, *The Royal Society of Chemistry*, p.p.192-195.
- CODEX ALIMENTARIUS**, 1991. Codex standard for durum wheat semolina and durum wheat flour 178-1991 (Rev. 1-1995). Rome: FAO/WHO.)
- COLAS A., PETEL D.**, 1984. Analyse physique des farines. In : Guide pratique d'analyse dans les industries des céréales, coordonnateurs, GODON B., LOISEL W., Ed. TEC&DOC. *Lavoisier*, Paris, p.p. 153-156.
- CORBELLIN M., MAZZA L., CIAFFI M., LAFIANDRA D., BORGHI B.**, 1998. Effect of heat shock during grain filling on protein composition and technological quality of wheats. In wheat, prospects for global improvement, Proc. of the international wheat conference Ankara, Turkey, 10-14 June 1996. *Kluwer Academic Publisher*, Dordrecht, Netherlands, p.p. 213-220.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

-CORNEC M., POPINEAU Y., LEFEBVRE J., 1994. Characterisation of gluten subfraction by SE-HPLC and dynamic rheological analysis in shear. *Journal of Cereal Science*, vol. 19, p.p. 131-139.

-CORNELLE H.J., HOVELING A.W., 1998. Wheat: chemistry and utilization: wheat proteins. Bazel, *Technomic Publishing*, p.p. 327-347.

-CUBADDA R., CARCEA M., PASQUI, L.A., 1992. Suitability of the Gluten Index method for assessing gluten strength in durum wheat semolina. *Cereal Food World*, vol.37, p.p.866-869.

-CUBADDA R., CARCEA M., 1994. Evaluation of gluten strength in durum wheat and semolina by rapid methods. *Italian Food and Beverage Technology*, vol.5, p.p. 15-19.

D

-DACOSTA Y., 1986. Le gluten de blé et ses applications. *Apria*.p.p. 18-63.

D'EGIDIO M.G., MARIANI B.M., NARDI S., NOVARO P., CUBADDA R., 1990. Chemical and technological variables and their relationships, a predictive equation for pasta cooking quality. *Cereal Chemistry*: vol. 67, p.p. 275–281.

-D'EGIDIO M., BOGGINI G., CECCHINI C., PAGANI M., DENONI I., REMINI P., 1996. Effeto della raccolta anticipata sulla qualta pastificatoria del fumento duro. *TECNICA Molitoria*, vol. 47, n.12, p.p. 1205-1206.

-DEL FRATE R., 2005. Mieux connaitre la farine. Spécial Analyses. Supplément technique, I.N.B.P., Laboratoire d'Essais des Matériels et Produits Alimentaires (L.E.M.P.A.), Rouen, France, n. 85: 16 p.

-DEMARCHI F., 1994: La qualité des blés durs et des pâtes alimentaires, séminaire Européen COMETT.27-29 janvier. Montpellier.

-DEXTER J. E., MATSUO R. R., 1978. The effect of gluten protein fractions on pasta dough rheology and spaghetti-making quality. *Cereal Chemistry*, n. 55, p.p. 44-57.

-DEXTER JE., MATSUO RR., KOSMOLAK FG., LEISLE D., MARCHYLO BA., 1980. The suitability of the SDS-sedimentation test for assessing gluten strength in durum wheat. *Can J Plant Sci.*, vol. 60, p.p. 25–29.

-DEXTER JE., MATSUO RR., PRESTON KR., KILBORN RH., 1981. Comparison of gluten strength, mixing properties, baking quality and spaghetti quality of some

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

Canadian durum and common wheats. *Can Inst Food Sci Technol J.*, vol.14, p.p. 108–111.

-DEXTER, J.E., PRESTON, K.R., MARTIN, D.G., GANDER, E.J., 1994. The effects of protein content and starch damage on the physical dough properties and breadmaking quality of Canadian durum wheat. *Journal of Cereal Science*, vol. 20, p.p. 139–151.

-DICK J.W., QUIK J. S., 1983. A modified screening test for rapid estimation of gluten strength in early-generation durum wheat breeding lines. *Cereal chemistry*, vol. 60, n. 6, p.p. 315-318.

-DJABER FATIHA, SEDDI FATIHA, 2012. Distribution des protéines de réserve dans les produits de mouture de blé dur et leur rôle en panification. Mémoire d'Ingénieur, *Université Mouloud MAMMERI*, Tizi-Ouzou, Algérie, 105p.

-DJEMA I., 2000. Influence du taux d'extraction et de la granulométrie de la semoule sur la qualité technologique du couscous de blé dur. Mémoire de Magister, *E.N.S.A., El-Harrach*, Algérie, 84p.

-DON C., LICHTENDONK W.J., PLIJTER J.J., HAMER R.J., 2003. Glutenin macropolymer: a gel formed by particles. *Journal of Cereal Science*, vol. 37, p.p. 1-7.

-DOWELL F. E., MAGHIRANG E. B., PIERCE R. O., LOOKHART G. L., BEAN S. R., XIE F., CALEY M. S., WILSON J. D., SEABOURN B. W. RAM M. S., PARK S. B., CHUNG O. K., 2008. Relationship of bread quality to kernel, flour, and dough properties. *Cereal chemistry*, vol.85, n.1, p.p.82-91.

-DUPONT F. M., CHAN R., LOPEZ R, VENSEL W. H., 2005. Sequential extraction and quantitative recovery of gliadins, gluténines and other proteins from small samples of wheat flour. *J. Agric. Food Chem.*, vol.53, p.p. 1575-1584.

-DUTTA T., KAUR H., SINGH S., MISHRA A., TRIPATHI J. K., SINGH N, PAREEK A., SINGH P., 2011. Developmental changes in storage proteins and peptidyl prolyl cis–trans isomerase activity in grains of different wheat cultivars. *Food Chem.*, vol.128, n.2, p.p.450-457.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

E

-EDWARDS N.M., GIANIBELLI M.C., MCCAIG T.N., CLARKE J.M., AMES N.P., LARROQUE O.R., DEXTER J.E., 2007. Relationships between dough strength, polymeric protein quantity and composition for diverse durum wheat genotypes.*J. Cereal Sci.*, vol. 45, p.p. 104–149.

-EDWARDS N.M., PRESTON K.R., PAULLEY F.G., GIANIBELLI M.C., MCCAIG T.N., CLARKE J.M., AMES N.P., DEXTER J.E., 2007. Hearth bread baking quality of durum wheat varying in protein composition and physical dough properties.*Journal of the Science of Food and Agriculture*, vol. 87, p.p. 2000–2011.

-ELIASSON A.C., LARSSON K., 1993. Cereals in breadmaking. A Molecular Colloidal Approach.*Marcel Dekker Inc.*, New York. p.p. 1–64.

F

-FAVIER J. C., IRELAND RIPERT J., TOQUE C., FEINBERG M., 1995. Répertoire général des aliments: table de composition. ED : *Technique et Documentation*, 2ème édition, Paris, Lavoisier, 897p.

-FEILLET P., 1986. L'industrie des pâtes alimentaires : technologie de fabrication qualité des produits finis et des matières premières. *Ind. Agro. Ali.*, p.p. 979-989.

-FEILLET P., 2000. Le grain de blé : composition et utilisation. *Institut National de la Recherche Agronomique*, Paris, 308p.

-FEILLET P., KOBREHEL K., 1974. Determination of common wheat content in pasta products. *Cereal Chemistry*, vol.51, p.p: 203-210.

-FERREIRA MARIANA S.L., MARTRE PIERRE, MANGAVEL CECILE, GIROUSSE CHRISTINE, ROSA NATALIA N., SAMSON MARIE-FRANÇOISE, MOREL MARIE-HELENE, 2012. Physicochemical control of durum wheat grain filling and glutenin polymer assembly under different temperature regimes. *Journal of Cereal Science*, vol.56, p.p. 58-66.

-FERREIRA MARIANA S.L., SAMSON MARIE-FRANÇOISE, BONICEL JOËLLE, MOREL MARIE-HELENE, 2012. Relationship between endosperm cells redox homeostasis and glutenin polymers assembly in developing durum wheat grain. *Plant Physiology and Biochemistry*, vol.61, p.p.36-45.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- FIGUEROA J. D. C., MAUCHER T., REULE W., PENA R. J., 2009.** Influence of High Molecular Weight Glutenins on Viscoelastic Properties of Intact Wheat Kernel and Relation to Functional Properties of Wheat Dough. *Cereal Chem.*, vol.86, n.2, p.p. 139-144.
- FINNEY K. F., JONES B.L., SHOGREN M.D., 1982.** Functional (bread-making) properties of wheat protein fractions obtained by ultra-centrifugation. *Cereal Chem.*, vol.59, p.p. 449-453.
- FISHER J., 1997.** Informations apportées par les essais de panification : signification, interprétation, limites. *Industrie de Céréales*, vol. 103, p.p. 17-22.
- FLAGELLA, Z., 2006.** Qualità nutrizionale e tecnologica del frumento duro. *Ital. J. Agron.*, n.1, p.p. 203–239.
- FLAGELLA, Z., GIULIANI, M.M., GIUZIO, L., TARANTINO, E., DI FONZO, N., DE CARO, A., 2002.** Influence of water deficit and nitrogen fertilization on durum wheat technological quality. In: Istituto Sperimentale per la Cerealicoltura C.R.A. (Ed.), Proceedings of Second International Workshop “Durum Wheat and Pasta Quality: Recent Achievements and New Trends”, p.p. 197–201.
- FLAGELLA ZINA, GIULIANA MARCELLA M., GIUZIOA LUIGIA, VOLPI CHIARA, MASCI STEFANIA, 2010.** Influence of water deficit on durum wheat storage protein composition and technological quality. *Europ. J. Agronomy*, n.33, p.p. 197–207.
- FOIS SIMONETTA, SANNA MANUELA, STARA GIUSEPPE, ROGGIO TONINA, CATZEDDU PASQUALE, 2011.** Rheological properties and baking quality of commercial durum wheat meals used to make flat crispy bread. *Eur Food Res Technol*, n.232, p.p. 713–722.
- FRATIANNI A, IRANO M, PANFILI G, ACQUISTUCCI R., 2005.** *J Agric Food Chem*, vol.53, p.p. 2373–2378.
- FU B. X., KOVACS M. I. P., 1999.** Rapid single-Step procedure for isolating total glutenin proteins of wheat flour. *J. Cereal Sci.*, vol.29, n.2, p.p. 113-116.
- FU B. X., SAPIRSTEIN H. D., 1996.** Procedure for isolating monomeric proteins and polymeric glutenin of wheat flour. *Cereal chem.*, vol.73, n.1, p.p.143-152.

- GATE P.**, 1996. Ecophysiologie du blé. Edition ITCF.TEC et DOC. LAVOISIER. 429p.
- GAUTIER M.F.**, 1983. Etude de la composition de la fraction « gel protéique » des blés tendres. Variation génétique et relation avec la qualité boulangère. Thèse d'état, *Université des sciences et techniques de LANGUEDOC*, 170 p.
- GIANIBELLI M. C., LARROQUE O. R., MAC RITCHIE F., WRIGLEY C. W.**, 2001. Biochemical, genetic and molecular characterization of wheat endosperm proteins. *Cereal Chemistry*, vol. 78, n. 6, p.p. 635-646.
- GODON B.**, 1995. Le pain. *Pour la science*. Dossier hors série de mars (science et gastronomie), p.p.16-25.
- GODON B., LOISEL W.**, 1997. Guide pratique d'analyse dans les industries des céréales : tests de laboratoire. Paris, Lavoisier, p.p. 653-697. (Collection sciences et techniques agro-alimentaires).
- GODON B., WILLM C.**, 1991. Biotransformation des produits céréaliers : les constituants des céréales : nature, propriétés et teneurs. Paris, *Lavoisier*, p. 1-19. (Collection sciences et techniques agro-alimentaires).
- GODON, B., WILLM, C.**, 1998. Les industries de première transformation des céréales. *Technique et Documentation*, Lavoisier, Paris : 679 p.
- GOESAERT H., BRIJS K., VERAVERBEKE W. S., COURTIN C. M., GEBRUERS K., DELCOUR J. A.**, 2005. Wheat flour constituents: how they impact bread quality, and how to impact their functionality. *Trends in Food Science & Technology*, vol. 16, p.p. 12-30.
- GRAVELAND A., BONGERS P., BOSVELD P.**, 1979. Extraction and fractionation of wheat flours proteins. *J. Sci. Food Agric.*, vol.30, p.p. 71-84.
- GUPTA, R.B., BATEY, I.L., MACRITCHIE, F.**, 1992. Relationships between protein composition and functional properties of wheat flours. *Cereal Chem.*, vol.69, p.p.125-131.

REFERENCES BIBLIOGRAOHQUES

-GUPTA R. B., KHAN K., MACRITCHIE F., 1993. Biochemical basis of flour properties in bread wheat. I. Effects of variation in the quantity and size distribution of polymeric protein. *J. Cereal Sci.*, vol.18, p.p.23-41.

-GUTTIERI M.J., BECKER C., SOUZA E.J., 2004. Application of wheat meal solvent retention capacity tests within soft wheat breeding populations. *Cereal Chem.*, vol.81, p.p. 261–266.

H

-HARELAND, G.A., PUHR, D.P., 1999. Baking performance of durum and soft wheat flour in a sponge-dough breadmaking procedure. *Cereal Chemistry*, vol.75, p.p. 830–835.

-HEBRARD A., OULAHNA D., GALET L., ABECASSIS J., FAGES J., 2003. Hydratation properties of durum wheat semolina: influence of particle size and temperature. *Powder Technology*, vol.130, p.p. 211-218.

-HOSENEY R. C., FINNEY K. F., SHOGREN M. D., POMERANZ Y., 1969a. Functional (breadmaking) and biochemical properties of wheat flour components. II. Role of water-solubles. *Cereal Chemistry*, vol. 46, p.p. 117-125.

-HOSENEY, R.C., 1994. Principles of cereal science and technology. 2nd edition. R.C. Hoseney, ed. American Association of Cereal Chemists, Inc., St. Paul, Minnesota, USA.

-HOULIAROPOULOS E., ABECASSIS J., AUTRAN J.-C., 1981. Produits de mouture du blé dur : coloration et caractéristiques culinaires. *Industries des céréales*, n. 12, p.p. 3-13.

I

-Institute Poligrafico e Zecca dello stato, 2004. Italian Official Bulletin (Gazzetta Ufficiale della Repubblica Italiana), n. 51, pp. 58-60.

J

-JIANG G., PEI Y., ZHANG Y., LI X., YAO D., YAN Y., MA W., HSAM S. L. K., ZELLER F. J., 2008. Molecular cloning and characterization of four novel LMW, *Hereditas*, vol.145, p.p. 92-98.

-JOHANSSON, E., PRIETO-LINDE, M.L., JONSSON, J.O., 2001. Effects of wheat cultivar and nitrogen application on storage protein composition and breadmaking quality. *Cereal Chem.*, vol.78, p.p.19–25.

-JOOD S., SCHOFIELD J. D., TSIAMI A.A., BOLLECKER S., 2001. Effect of Gluténin subfractions on bread-making quality of wheat. *International Journal of Food Science and technology*. vol.36, p.p. 573-584.

-Journal Officiel de la République Algérienne (JORA), 26 Décembre 2007 n. 80.

K

-KHATKAR, B.S., BELL, A.E., SCHOFIELD, J.D., 1996. A comparative study of the inter-relationships between mixograph parameters and bread making qualities of wheat flours and glutes. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, vol.72, p.p. 71-85.

-KHATKAR B.S., FIDO R.J., TATHAM A.S., SCHOFIELD J.D., 2002 a. Functional properties of wheat gliadines. I. Effects on mixing characteristics and bread making quality. *J. Cereal Sci.*, vol.35, p.p. 299-306.

-KIHLBERG IWONA, JOHANSSON LISBETH, KOHLER ACHIM, RISVIK EINAR, 2004. Sensory qualities of whole wheat pan bread—influence of farming system, milling and baking technique. *Journal of Cereal Science*, vol.39, p.p. 67–84

-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*, p.p. 61-65.

-KOBREHEL, K., LAIGNELET, B., FEILLET, P., 1974. Study of some factors of macaroni brownness. *Cereal Chemistry*, vol.51, p.p. 675-684.

-KOVACS M. I. P., 1985. An improved sodium dodecyl sulfate-sedimentation test for early generation screening of durum wheat quality. *Sci. Alim.*, vol.5, p.p.123–131.

-KRATTIGER, A.F., LAW, C.N., 1991. The effects of adding NaCl and 2-mercaptoethanol and of other modifications to the SDS-sedimentation test. In “Gluten Proteins 1990”. Eds. BUSHUK, W. and TKACHUK, R. AACC Inc. St Paul, p.p.156-169.

- LABUSCHAGNE M.T., ELAGO O., KOEN E., 2009.** The influence of temperature extremes on some quality and starch characteristics in bread, biscuit and durum wheat. *Journal of Cereal Science*, vol.49, p.p.184–189.
- LADRAA NAWAL, 2012.** Aptitude à la panification de quelques variétés de blé dur algérien. Thèse de magistère, *E.N.S.A.*, El-Harrach, Algérie, 93p.
- LAFIANDRA D., MARGIOTTA B., COLAPRICO G., MASCI S., ROTH M. R., MACRITHIE F., 2000.** Introduction of the D-genome related high and low molecular glutenin subunits into durum wheat and their affect on technological properties. In: *Gluten Proteins 2000, Royal Society of Chemistry*, Cambridge, UK, p.p. 51-54.
- LAGNELET B., KOBREIHEL K., FEILLET P., 1979.** Le problème de la coloration des pâtes alimentaires. *Ind. Alim. Agric.*, vol.4, p.p. 418-425.
- LAMPEREUR I., CHANRAND M., ABECASSIS J., ATRAN J.C., 1997.** Valeur semoulière des blés durs (*Triticum durum desf*). influence de la taille des grains. *Ind.céréales*, vol.104, p.p.13-20.
- LASZTITY R., 1984.** The chemistry of cereal proteins. *CRC Press*, Inc, Boca Raton., New York, London, Tokyo.
- LAURO M.; RING S.; BULL V.J.; POUTANEU K., 1997.** Gelatinisation of waxy barley starch hydrolysates. *Canadian Journal of Cereal Sci.*, vol.26, n.3, p.p.347-560.
- LEON E., AOUNI R., PISTON F., RODRIGUEZ-QUIJANO M., SHEWRY P. R., MARTIN A., BARRO F., 2010.** Stacking HMW-GS transgenes in bread wheat: Combining subunit 1Dy10 gives improved mixing properties and dough functionality. *J. Cereal Sci.*, vol.51, p.p. 13-20.
- LI Y, ZHU R, TIAN J., 2008.** Influence of wheat protein contents and fractions on dough rheological properties as determined by using a reconstitution method. *Agricultural sciences in China*, vol.7, n.4, p.p.395-404.
- LINDAHL, ELIASSON A. C., 1992.** A Comparison of Some Rheological Properties of Durum and Wheat Flour Doughs. *Cereal Chemistry*, vol.69, n.1, p.p. 30-34.
- LIU C. Y., SHEPHERD K. W., GRAS P. W., 1994.** Grain yield and quality characteristics of chromosome 1D and 1B substitution lines in durum wheat and their F2

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

derived progeny lines I Comparison among the tetraploid types. *Journal of Cereal Science*, n. 20, p.p. 20-32.

-**LIU, C.Y., SHEPHERD, K.W., RATHJEN, A.J.**, 1996. Improvement of durum wheat pastamaking and breadmaking qualities. *Cereal Chemistry*, vol.73, p.p.155–166.

-**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. Cereal Sci.*, n.31, p.p. 185-194.

M

-**MACRITCHIE.**,1985. Studies of methodology for fractionation and reconstitution of wheat flours. *J. Cereal Sci.*, vol.3, p.p. 221-230.

-**MACRITCHIE F.**, 1999. Wheat proteins: Characterisation and role in flour functionality. *Cereal Foods World*, vol.44, p.p. 188-193.

-**MACRITCHIE F., DUCROS D. L., WRIGLEY C. W.**, 1990. Flour polypeptides related to wheat quality. *Adv. Cereal Sci. Technol.*, vol.10, p.p.79-145.

-**MAGHIRANG E. B., LOOKHART G. L., BEAN S. R., PIERCE R. O., XIE F., CALEY M. S., WILSON J. D., SEABOURN B. W., RAM M. S., PARK S. H.**,

-**CHUNG O. K., DOWELL F. E.**, 2006. Comparison of quality characteristics and breadmaking functionality of hard red winter and hard red spring wheat. *Cereal Chemistry*, vol. 83, n. 5, p.p. 520-528.

-**MANSER J.**, 1989. Degree of Fineness of Milled Durum products from the Viewpoint of Pasta Manufacture. *Pasta journal* July/August: n.23.

-**MANTHEY F. A., HARELAND G.A.**, 2001. *Cereal Chem.*, vol.78, p.p.368–371

-**MARAIS G. F., D'APPOLONIA B. L.**, 1981a. Factors contributing to baking quality differences in hard red spring wheat. I. Bases for different loaf volume potentials. *Cereal Chem.*, vol.58, p.p. 444-447.

-**MARAIS G. F., D'APPOLONIA B. L.**, 1981b. Factors contributing to baking quality differences in hard red spring wheat. II. Bases for different mixing properties. *Cereal Chem.*, vol.58, p.p. 448-453.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- MARCHYLO B. A., KRUGER J. E., HATCHER D. W.**, 1989. Quantitative reversed-phase high-performance liquid-chromatography analysis of wheat storage proteins as a potential quality prediction tool. *Journal of Cereal Science*, vol.9, p.p.113-130.
- MARTINANT J. P., NICOLAS Y., BOUGENNEC A., POPINEAU Y., SAULNIER L., BRANLARD G.**, 1998. Relationships between mixograph parameters and indice of wheatgrain quality. *J. Cereal Sci.*, vol. 27, p.p. 179-189.
- MARTINEZ MA DEL CARMEN, RUIZ MAGDALENA, CARRILLO JOSE M.**, 2005. Effects of different prolamin alleles on durum wheat quality properties. *Journal of Cereal Science*, vol.41, p.p 123–131.
- MASCI, S., D’OVIDIO, R., LAFIANDRA, D., KASARDA, D.D.**, 2000. A 1B-coded low molecularweight glutenin subunit associated with quality in durum wheats shows strong similarity to a subunit present in some bread wheat cultivars. *Theor. Appl. Genet.*, vol.100, p.p.396–400.
- MATSUO R., DEXTER J. E.**, 1980a. Relationship between some durum wheat physical characteristics and semolina milling properties. *Canadian Journal of Plant Science*, vol. 60, p.p.49-53.
- MATSUO, R.R., DEXTER, J.E.**, 1980b. Composition of experimentally milled durum wheat semolina to semolina produced by some Canadian commercial mills. *Cereal Chemistry*, vol.57, p.p. 117- 122.
- MATUZ J.**, (1998). Inheritance of SDS sedimentation volume of flour in crosses of winterwheat (*Triticum aestivum* L.). *Cereal Res. Commun.*, vol.26, p.p. 203-210.
- MATVEEF M.**, 1966. Influence du gluten des blés durs sur la valeur des pates alimentaires Bull. anc. Elèves, ed. *Fr meunerie*, vol. 213, p.p. 133-138.
- MAUZE C., RICHARD M., SCOTTI G.**, 1972. Contrôle de la qualité des blés. Guide pratique de l’institut technique des céréales et des fourrages. Paris, 176 p.
- MCDONALD C.E.**, 1985. Sodium dodecyl sulfate sedimentation test for durum wheat. *Cereal Foods World*, vol.30, p.p.674–677.
- MEBARKIA A., BENKOHILA H.S., HAMZA M., MAKHLOUF M.**, 2005. Efficacite d’une proteine entomotoxique du type a1b des graines de legumineuses, *Agriculture*, n.3, p.p.1-8.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- MELAS V., MOREL M. H., FEILLET P.**, 1993. Les sous unités gluténines du blé de faible poids moléculaire : des protéines d'avenir ? *Industrie des céréales*, n. 10, p.p. 3-14.
- MELAS V., MOREL M. H., AUTRAN J. C, FEILLET P.**, 1994. Simple and rapid method for purifying low molecular weight subunits of glutenin from wheat. *Cereal Chemistry*, vol. 71, p.p. 234-237.
- MICHELENA, A., ROMAGOSA, I., MARTIN, J.A., LOPEZ, A.**, 1995. Influencia ambiental y varietal en diferentes parámetros de calidad y rendimiento en trigo duro. *Invest. Agr.*, vol.10, p.p.192–201.
- MILLAR S. J.**, 2003. The development of near-infrared (NIR) Spectroscopy calibrations for the prediction of wheat and flour quality. *Home-Grown Cereals Authority (HGCA) Project Report*, n.310.
- MILES CHRISTINA WILHELMINA**, 2010. Mixogram parameters and their relationship to bread wheat quality characteristics. Mémoire magister, *University of the Free State*, Bloemfontein, Afrique du sud, 143p.
- MIRALBÉS, C.**, 2004. Quality control in the milling industry using near-infrared transmittance spectroscopy. *Food Chemistry*, vol.88, p.p.621-628.
- MONNEVEUXP., MERIE J.C., BLANC J.F.**, 1984. Amélioration de la qualité pastière du blé dur (*triticum durum* desf). Etude des relations entre les diagrammes électrophorétique des gliadines et certaines caractéristiques technologiques. *Agronomie*, Vol.4, p.p. 1-10.
- MOREL, M.-H., DEHLON, P., AUTRAN, J.C., LEYGUE, J.P., BAR L'HELGOUAC'H, C.**, 2000. Effects of temperature, sonication time, and power settings on size distribution and extractability of total wheat flour proteins as determined by size-exclusion high-performance liquid chromatography. *Cereal Chemistry*, vol.77, p.p.685-691.
- MORRIS CRAIG F., PASZCZYNSKA BOZENA, BETTGE ARTHUR D., KING GARRISON E.**, 2007. A critical examination of the sodium dodecyl sulfate (SDS) sedimentation test for wheat meals. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, vol.87, p.p. 607–615.
- MOTQUIN et al.**, 2007. Méthodes d'appréciation de la qualité des blés (et épautres) destinés à la panification.

N

- NAEGA, S.**, 2005. Wheat and flour testing methods: A guide to understanding wheat and flour quality. Published by "Wheat Marketing Center, Inc". Portland, Oregon, USA, 71 p.
- NASH D., LANNING S. P., FOX P., MARTIN J. M., BLAKE N. K., SOUZA E., GRAYBOSCH R. A., GIROUX M. J., TALBERT L. E.**, 2006. Relationship of dough extensibility to dough strength in a spring wheat cross. *Cereal Chem.*, vol.83, n.3, p.p. 255-258.
- NEACSU, A., STANCIU, G., SĂULESCU, N.N.**, 2009. Most suitable mixing parameters for use in breeding bread wheat for processing quality. *Cereal Research Communications*, vol.37, p.p.83-92.
- NERON S.**, 2000. Les lipides de l'amidon : quand une minorité s'en mêle. *Industrie des céréales*, n.119, p.p.5-18.
- NEUFELD, K.J. AND WALKER, C.E.**, 1990. Evaluation of commercial wheat gluten using the mixograph. *Cereal Foods World*, vol.35, p.p. 667-669.
- NOVARO, P., D'EGIDIO, M.G., BACCI, L., MARIANI, B.M.**, 1997. Genotype and environment: their effect on some durum wheat quality characteristic. *J. Genet. Breed.*, vol.51, p.p. 247-252.

O

- OHM J.B., KLINDWORTH D.L., HARELAND G.A., FARIS J.D., ELIAS E.M., XU S.S.**, 2010. Variation in kernel characteristics and protein molecular weight distribution of Langdon durum-wild emmer wheat chromosome substitution lines. *Journal of Cereal Science*, vol.52, p.p. 207-214.
- OKANDZA Y.**, 2000. Caractérisation technologiques et biochimiques de quelques variétés de blé dur algérien. Mémoire de Magister, *E.N.S.A.*, El-Harrach, Algérie, 96p.
- ÔRNEBRO J., WAHLGREN M., ELIASSON A. C, FIDOT R. J., TATHAMT S.**, 1999. Adsorption of α , β , γ , and ω -gliadins on hydrophobic surfaces. *Journal of Cereal Science*, vol.30, p.p. 105-114.
- OSBORNE T. B.**, 1907. The proteins of wheat kernel. *Carnegie, Inst*, WASHINGTON DC. Publ. 84.

- PALUMBO M., SPINA A., BOGGINI G., 2000.** Agronomic and bread-making characteristics of durum wheat genotypes deriving from interspecific hybridisation with bread wheat. *Options Méditerranéennes : Série A. Séminaires Méditerranéens*; n. 40, p.p 515- 518.
- PARK S. H., BEAN S. R., CHUNG O. K., SEIB P. A., 2006.** Levels of protein composition in hard winter wheat flours and the relationship to breadmaking. *Cereal Chem.*, vol.83, n.4, p.p.418- 423.
- PANFILI, G., FRATIANNI, A., IRANO, M., 2004.** Improved normal-phase high-performance liquid chromatography procedure for the determination of carotenoids in cereals. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, vol.52, p.p.6373-6377.
- PANOZZO, J.F., EAGLES, H.A., 2000.** Cultivar and environmental effects on quality characters in wheat. II. Protein. *Aust. J. Agric. Res.*, vol.51, p.p.629–636.
- PASHA I., ANJUM FM., MASOOD SB., SULTAN JL., 2007.** Gluten quality prediction and correlation studies in spring wheats. *Journal of Food Quality.*, 30: 438–449.
- PASQUALONE A., CAPONIO F., SIMEONE R., 2004.** Quality evaluation of re-milled durum wheat semolinas used for bread-making in Southern Italy. *Eur. Food Res. Technol.*, n. 219, pp. 630-634.
- PAYNE P. I., HARRIS P. A., LAW C. N., HOLT L. M., BLACKMAN J.A., 1980.** The high-molecular-weight subunits of glutenin: Structure, genetics and relationship to bread-making quality. *Ann. Technol. Agric.*, vol.29, p.p. 309-320.
- PAYNE, P.I., HOLT, L.M., WORLAND, A., LAW, C.N., 1982.** Structural and genetical studies on the high molecular weight subunits of wheat glutenin. *Theor. Appl. Genet.*, vol.63, p.p.129–138.
- PAYNE, P.I., JACKSON, E.A., HOLT, L.M., 1984.** The association between gliadin 45 and gluten strength in durum wheat varieties: a direct causal effect of the result of genetic linkage? *Journal of Cereal Science*, vol.2, p.p.73–81.
- PECHANEK U., KARGER A., GRÖGER S., CHARVAT B., SCHÖGGL G., LELLEY T., 1997.** Effect of nitrogen fertilization on quality of flour proteins

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

components, dough properties, and breadmaking quality of wheat. *Cereal Chemistry*, vol.74, n. 6, p.p. 800-805.

-PENA, R.J., ZARCO-HERNANDEZ, J., AMAYA-CELIS, A., MUJEEB-KAZI, A., 1994. Relationship between chromosome 1B-encoded glutenin subunit compositions and bread-making quality characteristics of some durum wheat (*Triticum turgidum*) cultivars. *Journal of Cereal Science*, vol.19, p.p.243–249.

-PENA E., BERNARDO A., SOLER C., JOUVE N., 2005. Relationship between common wheat (*Triticum aestivum* L.) gluten proteins and dough rheological properties. *Euphytica*, vol. 143, p.p. 169-177.

-PENA R. J., 2000. Durum wheat for pasta and breadmaking. Comparison of methods used in breeding to determine gluten quality-related parameters. *CIHEAM. Options méditerranéennes*, p.p. 423-430.

-PERSINI D. E., EDWARDS. N. M., DEXLER. J. E., MULVAREY J. S., SENSIDONI A., POLLINI C.S M., 1999. Rheological behaviour of durum wheat dough and their relation to baking and pasta quality, southern European conference in rheology, *University of Colobia, Italy.*

-PETERSON C.J., JOHSON V.A., MATTERN P.P., 1986. Influence of cultivar and environment on mineral and protein concentration of wheat flour; bran and grain. *Cereal chem.*, n.63, p.p.183-186.

-PETERSON C.J., GRAYBOSCH R.A., BAENZIGER P.S., GROMBACHER A.W., 1992. Genotype and environment effects on quality characteristics of hard winter wheat. *Crop Science*, vol.32, p.p.98-103.

-PEYRON S., SURGET A., MABILLE F., AUTRAN J. C., ROUAU X., ABECASSIS J., 2002. Evaluation of tissue dissociation of durum wheat grain (*Triticum durum* Desf.) generated by the milling process. *Journal of Cereal Science*, n. 36, p.p. 199-208.

-POGNA, N.E., AUTRAN, J.C., MELLINI, F., LAFIANDRA, D., FEILLET, P., 1990. Chromosome 1B-encoded gliadins and glutenins subunits in durum wheat: genetics and relationship to gluten strength. *J. Cereal Sci.*, vol.11, p.p.15–34.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

-POMERANZ Y., 1965. Dispersibility of wheat proteins in aqueous urea solution-A new parameter to evaluate bread-making potentialities of wheat flours. *J. Sci. Food Agric.*, vol.16, p.p. 586-593.

-POMERANZ Y., 1982. Flour components and baking behavior. *Getreide mehlbrot*, vol. 36, p.p. 264-272.

-POMERANZ Y., 1987. Cereal Crops – general. In *Modern cereal science and technology* Pomeranz Y(eds), VCH Publishers, Inc, New York, p.p 14-23.

-PORCEDDU, E., 1995. Durum wheat quality in the Mediterranean countries. Seminar on Durum Wheat Quality in the Mediterranean Region, Zaragoza. CIHEAM-IAMZ.

-PRESTON K. R., KILBORN R. H., DEXTER J. E., 1987. Effects of Starch Damage and Water Absorption on the Alveograph Properties of Canadian Hard Red Spring Wheats. *Can. Inst. Food Sci. Technol. J.*, vol.20, n.2, p.p. 75-80.

Q

-QUAGLIA, G. B., 1988. Other durum wheat products. In G. Fabriani, & C. Lintas (Eds.), *Durum wheat: Chemistry and technology* (p.p. 263–274). St. Paul, MI: American Association of Cereal Chemistry.

-QUICK J.S., DONNELLY B.J., 1980. A rapid test for estimating durum wheat gluten quality. *Crop Sci.*, vol.20, p.p.816–818.

R

-RANHOTRA, G. S., GELROTH, J. A., GLASER, B. K., POSNER, E. S., 1992. Total and soluble fiber content of air-classified white flour from hard and soft wheats. *Cereal Chemistry*, vol.69, p.p.75-77.

-RAO V. K., MULVANEY S. J., DEXTER J. E., EDWARDS N. M., PERESSINI D., 2001. Stress–Relaxation Properties of Mixograph Semolina–Water Doughs from Durum Wheat Cultivars of Variable Strength in Relation to Mixing Characteristics, Bread- and Pasta-making Performance. *Journal of Cereal Science*, vol.34,p.p.215–232.

-RAO BANDLA NARASIMHA, 2008. A study of the rheological properties and gluten protein components associated with enhanced baking quality in durum wheat (*Triticum turgidum* L. var. *durum*). Mémoire Master, *Université de Saskatchewan*, Canada, 116p.

- RAOBANDLA N., POZNIAK CURTIS J., HUCL PIERRE J., BRIGGS CONNIE,** 2010. Baking quality of emmer-derived durum wheat breeding lines. *Journal of Cereal Science*, vol.51, p.p.299–304.
- RASIAH I.A., SUTTON K.H., LOW F.L., LIN H.M., GERRARD J.A.,** 2005. Crosslinking of 18 wheat dough proteins by glucose oxidase and the resulting effects on bread and croissants. *Food Chem.*, vol.89, p.p. 325-332.
- RHARRABTI, Y., ELHANI, S., MARTOS-NUNEZ, V., GARCIA DEL MORAL, L.F.,** 2000. Relationship between some quality traits and yield of durum wheat under southern Spain conditions. In: Royo, C., Nachit, M.M., di Fonzo, N., Araus, J.L. (Eds.), *Durum Wheat Improvement in the Mediterranean Region: New Challenges*, vol. 40, Options Méditerranéennes, p.p. 529–531.
- RHARRABTI, Y., ELHANI, S., MARTOS-NUNEZ, V., GARCIA DEL MORAL, L.F.,** 2001b. Protein and lysine content, grain yield and other technological traits in durum wheat under Mediterranean conditions. *J. Agric. Food Chem.*, vol.49, p.p.3802–3807.
- RHARRABTI Y., VILLEGAS D., ROYO C., MARTOS-NUNEZ V., GARCIA DEL MORAL L.F.,** 2003. Durum wheat quality in Mediterranean environments II. Influence of climatic variables and relationships between quality parameters. *Field Crops Research*, vol.80, p.p.133–140.
- ROUSSEL P.,** 1984. Guide pratique d'analyse dans les industries des céréales: test de panification. Paris, *Lavoisier*, p.p. 511-545. (Collection techniques et documentation).
- ROUSSEL P., LOISEL W.,** 1984. Test de laboratoire. In : GODON B., et LOISEL W. 1997. Guide pratique d'analyse dans les industries des céréales. Ed. *Tec et Doc. Lavoisier, APRIA*, 479p.
- ROYO C., ELIAS M. E., MANTHEY F. A.,** 2009. Durum Wheat Breeding. In: Handbook of plant breeding. *Cereals Springer*, p.p. 198-219.

S

- SAINT PIERRE, C., PETERSON, C.J., ROSS, A.S., OHM, 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. *J. Cereal Sci.*, vol.47, p.p.407–416.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- SAMSON M.-F., MABILLE F., CHERET R., ABECASSIS J., MOREL M.-H.,** 2005. Mechanical and physiological characterization of vitreous and mealy durum wheat endosperm, *Cereal Chem.*, vol.82, p.p 81-87.
- SAPIRSTEIN H. D., FU B. X.,** 1998. Intercultivar variation in the quantity of monomeric proteins, soluble and insoluble glutenin, and residue protein in wheat flour and relationships to breadmaking quality. *Cereal chemistry*, vol.75, n.4, p.p.500-507.
- SAPIRSTEIN, H., JOHNSON, W.,** 2000. A rapid spectrophotometric method for measuring insoluble glutenin content of flour and semolina for wheat quality screening. In: Shewry, P.R., Tatham, A.S. (Eds.), *Gluten Proteins 2000. Proceedings of the Seventh International Gluten Workshop*. Royal Society of Chemistry, Cambridge, UK, p.p. 307–312.
- SAPIRSTEIN H. D., DAVID P., PRESTON K. R., DEXTER J. E.,** 2007. Durum wheat breadmaking quality: Effects of gluten strength, protein composition, semolina particle size and fermentation time. *Journal of Cereal Science*, n.45, p.p. 150-161.
- SHEWRY P.R., BRADBERRY D., FRANCLIN J., WHITE P.R.,** 1984. The chromosomal localization and linkage relationships of the structural genes for the prolamin storage proteins (secalins) of rye. *Theoretical and Applied Genetics*, vol.69, p.p.63-69.
- 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*, vol.4, p.p.97-106.
- SHEWRY, P.R., NAPIER, J.A., TATHAM, A.S.,** 1995. Seed storage proteins: structure and biosynthesis. *Plant Cell*, vol.7, p.p.945–956.
- SHEWRY P. R., HALFORD N. G.,** 2002. Cereal seed storage proteins: structures, properties and role in grain utilization. *Journal of Experimental Botany*, vol. 53, n. 370, p.p. 947-958.
- SHEWRY P. R., TATHAM A. S.,** 1997. Biotechnology of wheat quality. *J. Sci. Food. Agric.*, vol.73, p.p. 397-406.
- SINGH, N.K., DONOVAN, R., MACRICHIE, F.,** 1990. Use of sonication and size-exclusion HPLC in the study of wheat flour proteins. II. Relative quantity of glutenin as a measure of bread making quality. *Cereal Chemistry*, vol.67, p.p.161-170

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

-SINGH, S., SINGH, G., SINGH, P., SINGH, N., 2008. Effect of water stress at different stages of grain development on the characteristics of starch and protein of different wheat varieties. *Food Chem.*, vol.108, p.p.130–139.

-SISSONS M., 2008. Role of Durum Wheat Composition on the Quality of Pasta and Bread. *Food, Global Science Books*, vol. 2, n. 2, p.p. 75-90.

-SOLTNER D., 2005. Phytotechnie spéciale : les grandes productions végétales : céréales, plantes sarclées, prairies. *Sciences et techniques agricoles*, Angers. 472p. (Collection Sciences et techniques agricoles).

-SOUCI S. W., FACHMANN W., KRAUT H., 1994. La composition des aliments. Tableaux des valeurs nutritives Med pharm scientific publishers, 5^{ème} édition, Stuttgart : 1091p.

-SUCHY J., LUKOW O. M., FU B. X., 2003. Quantification of monomeric and polymeric wheat proteins and the relationship of protein fractions to wheat quality. *J. Sci. Food Agric.*, vol.83, p.p. 1083-1090.

-SUCHY J., LUKOW O. M., BROWN D., DEPAUW R., FOX S., HUMPHREYS G., 2007. Rapid assessment of glutenin and gliadin in wheat by UV spectrophotometer. *Crop science*, vol.47, n.1, p.p. 91-99.

-SYMONS S.J.; DEXTER J.E.; MATSUO R.R.; MARCHYLO B., 1996. Semolina speck country using an automated imaging system. *Cerealchemistry*, vol.73, p.p: 561-566.

T

-TAHA, S.A., SAGI, F., 1987. Relationships between chemical composition of durum wheat semolina and macaroni quality. II. Ash, carotenoid pigments, and oxidative enzymes. *Cereal Research Communications*, vol.15, p.p.123-129.

-TATHAM A.S., SHEWRY P.R., 1985. The conformation of wheat gluten proteins. The secondary and thermal stabilities of α , β , γ gliadins. *Journal of Cereal Science*, vol.3, 103p.

-TATHAM A. S., MIFLIN B. J., SHEWRY P. R., 1985a. The beta-turn conformation in wheat gluten proteins: Relationship to gluten elasticity. *Cereal Chem.*, vol.62, p.p. 405-442.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

-TAZEROUT CHANEZ, 2013. Etude biochimique et technologique de quelques fractions de mouture de blé dur, relation avec la qualité boulangère. Mémoire de Magister, *ENSA*, EL Harrach, Algérie, 139 p.

-TIGROUDJA F., BENDJOUADIOUADDA A., 1999. Influence de la granulométrie de la granulométrie de la semoule sur la qualité du couscous artisanal. Mémoire d'Ingénieur, *ENSA*, El Harrach, Algérie, 65p.

-TRENTESAUX E., 1995. Evaluation de la qualité du blé dur. *CIHEAM. Options méditerranéennes*. p.p. 53-59.

-TROCCHI A., BORRELLI, G.M., DE VITA, P., FARES, C., DI FONZO, N., 2000. Durum wheat quality: a multidisciplinary concept (review). *Journal of Cereal Science*, vol.32, p.p.99-113.

U

-UTHAYAKUMARAN S., GRAS P. W., STODDARD F. L., BEKES F., 1999. effect of varying protein content and glutenin-to-gliadin ratio on the functional properties of wheat dough. *Cereal chem.*, vol.76, n.3, p.p.89-394.

-UTHAYAKUMARAN, S., BEASLEY, H.L., STODDARD, F.L., KEENTOK, M., PHAN-THIEN, N., TANNER, R.I., BÉKÉS, F., 2002. Synergistic and additive effects of three HMW glutenin subunit loci. I. Effects on wheat dough rheology. *Cereal Chemistry*, vol.79, p.p.294-300.

-UTHAYAKUMARAN S., LUKOW O.M., 2005. Improving wheat for bread and tortilla production by manipulating glutenin-to-gliadin ratio. *Journal of the science of Food and Agriculture*, vol. 85, p.p. 2111-2118.

-UTHAYAKUMARAN S., LISTIOHADI Y., BARATTA M., BATEY I. L., WRIGLEY C. W., 2006. Rapid identification and quantitation of high-molecular-weight glutenin subunits. *Journal of Cereal Science*, vol. 44, p.p. 34-39.

V

-VAN DER BORGHT ANNE, GOESAERT HANS, VERAVERBEKE WIM S., DELCOUR JAN A., 2005. Fractionation of wheat and wheat flour into starch and

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

gluten: overview of the main processes and the factors involved. *Journal of Cereal Science*, vol.41, p.p.221–237.

-VAN LILL D., SMITH M.F., 1997. A quality assurance strategy for wheat (*Triticum aestivum* L.) where growth environment predominates. *South African Journal of Plant and Soil*, vol.14, p.p.183-191.

-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*, vol.5, p.p.1594-1611.

-VERAVERBEKE, W.S., DELCOUR, J.A., 2002. Wheat protein composition and properties of wheat glutenin in relation to bread making functionality. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, vol.42, p.p.179-208.

-VERBRUGGEN I. M., VERAVERBEKE W. S., VANDAMME A., DELCOUR J. A., 1998. Simultaneous isolation of wheat high molecular weight and low molecular weight glutenin subunits. *J Cereal Sci*, vol. 28, p.p. 25-32.

W

-WALKER, C.E. AND HAZELTON, J.L., 1996. Dough rheological tests. *Cereal Foods World*, vol.41, p.p.23-28.

-WALKER, C.E., WALKER, A.E., HAZELTON, J.L., 1997. Computerising the mixograph: Data collection and analysis. Pages 39-43 in: *The mixograph handbook*. 1st edition. C.E. Walker, J.L. Hazelton and M.D. Shogren, eds. National Manufacturing Division, TMCO, Lincoln, NE 68508-2935, USA.

-WANG C., KOVACS M. I. P., 2002a. Swelling index of glutenin test. I. Method and comparison with sedimentation, gel-protein, and insoluble glutenin tests. *Cereal chem.*, vol.79, n.2, p.p. 183-189.

-WANG C., KOVACS M. I. P., 2002b. Swelling index of glutenin test. II. Application in prediction of dough properties and end use quality. *Cereal chem.*, vol.79, n.2, p.p. 190-196.

-WANG C., KOVACS M. I. P., FU B.X., 1998. Efficiency of different concentration of ethanol and 1-propanol for gliadin and glutenin extraction. p.p.219-223 IN: *Wheat*

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

protein production and marketing. D.B. Fowler, W.E. Geddes, A.M. Johnston, K.R. Preston, eds. University of Saskatchewan: Saskatoon, Canada.

-WANG Y. G., KHAN K., HARELAND G., NYGARD G., 2007. Distribution of protein composition in bread wheat flour mill streams and relationship to breadmaking quality. *Cereal chem.*, vol.84, n.3, p.p.271-275.

-WASIK R. J., BUSHUK W., 1975. Relation between molecular-weight-distribution of endosperm proteins and spaghetti making quality. *Cereal Chemistry*, n.52, p.p. 322-328.

-WEEGELS P. L., MARSEILLE J. P., BOSVELD P., HAMER R. J., 1994. large-scale separation of gliadins and their bread-making quality. *Journal of Cereal Science*, vol. 20, p.p. 253-264.

-WIESER HERBERT, ANTES SUSANNE, SEILMEIER WERNER, 1998. Quantitative Determination of Gluten Protein Types in Wheat Flour by Reversed-Phase High-Performance Liquid Chromatography. *Cereal Chemistry*, vol.75, n.5, p.p.644-650.

-WIESER H., GUTSER R., VON TUCHER S., 2004. Influence of sulphur fertilisation on quantities and proportions of gluten protein types in wheat flour. *Journal of Cereal Science*, vol.40, p.p.239–244.

-WIESER, H., KIEFFER, R., 2001. Correlations of the amount of gluten protein types to the technological properties of wheat flours determined on a micro-scale. *J. Cereal Sci.*, vol.34, p.p.19–27.

-WIESER H., 2007. Chemistry of gluten proteins. *Food Microbiology*, vol. 24, p.p. 115–119.

-WIESER, H., BUSHUK, W., MACRITCHIE, F., 2006. The polymeric glutenins. Pages 213- 240 in: Gliadin and glutenin. The unique balance of wheat quality. C.W. Wrigley, F. Békés and W. Bushuk, eds. *American Association of Cereal Chemists, Inc.*, St. Paul, Minnesota, USA.

-WIKSTRÖM, K., BOHLIN, L., 1996. Multivariate analysis as a tool to predict bread volume from mixogram parameters. *Cereal Chemistry*, vol.73, p.p.686-690.

-WILLIAMS P., ELHARAMEIN F. J., NAKKOU H., RIHAVI S., 1988. Crop quality evaluation methods and guidelines. International centre for agricultural research in the dry areas (ICARDA), Aleppo.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

-WRIGLEY C. W., BIETZ J.A., 1987. Proteins and amino acids. Pages 159-252 in: Wheat Chemistry and Technology. Y. Pomeranz, ed. Am. Assoc. *Cereal Chem.* :St. Paul, MN.

-WRIGLEY C. W., LAWRENCE G. J., SHEPHERD K. W., 1982. Association of glutenin subunits with gliadin composition and grain quality in wheat. *Australian Journal of Plant Physiology*, vol.9, p.p. 15-30

Z

-ZAHID A., 2010. Mécanismes cellulaires et moléculaires régissant le métabolisme des semences de céréales : Rôle du réseau rédoxines- Système antioxydant dans la prédiction de la qualité germinative. Thèse de doctorat, INP, Toulouse, 196p.

-ZELENY L., 1978. Criteria of wheat quality. In: Pomeranz, Y. (ed) Wheat chemistry and technology. *American Association of Cereal Chemists, Inc.*, p. 821

-ZHANG P., HE Z., CHEN D., ZHAN Y., LARROQUE O.R., XIA X., 2007. Contribution of common wheat protein fractions to dough properties and quality of northern-style Chinese steamed bread. *Journal of Cereal Science*, vol.46, p.p. 1-10.

-ZHANG P., HE Z., ZHANG Y., XIA X., CHEN D., ZHANG Y., 2008. Association between % SDS-unextractable polymeric protein (%UPP) and End-Use quality in Chinese bread wheat cultivars. *Cereal Chem.*, vol.85, n.5, p.p.696-700.

-ZHU J., KHAN K., 1999. Characterization of monomeric and glutenin polymeric proteins of hard red spring wheats during grain development by multistacking SDS-PAGE and capillary zone electrophoresis. *Cereal Chem.*, vol.76, p.p.261–269

Références web :

-ANONYME, 2007. Définition du blé dur et la semoule

<http://fr.scribd.com/doc/38923528/Chapitre-I-Definition-du-ble-dur-et-la-semoule-BPF-semoule>

-JONES, J. and KOSINA, P., 2007. What determines wheat quality?
<http://www.knowledgebank.cimmyt.org>. 24-04-2008.

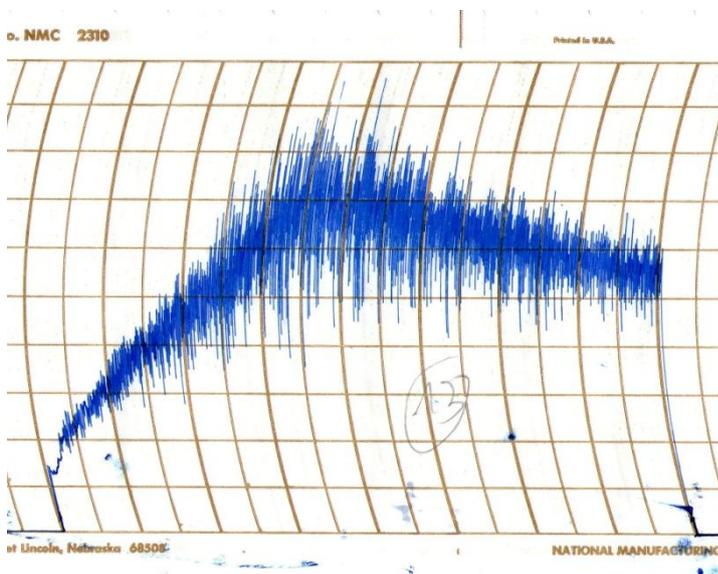
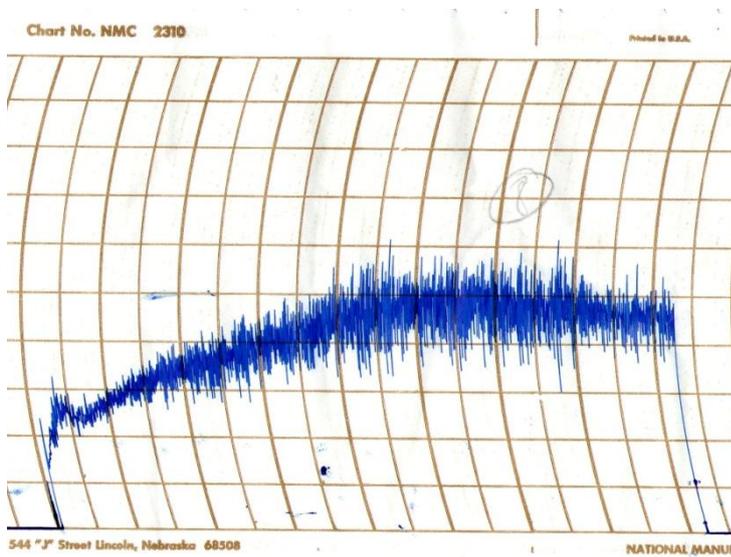
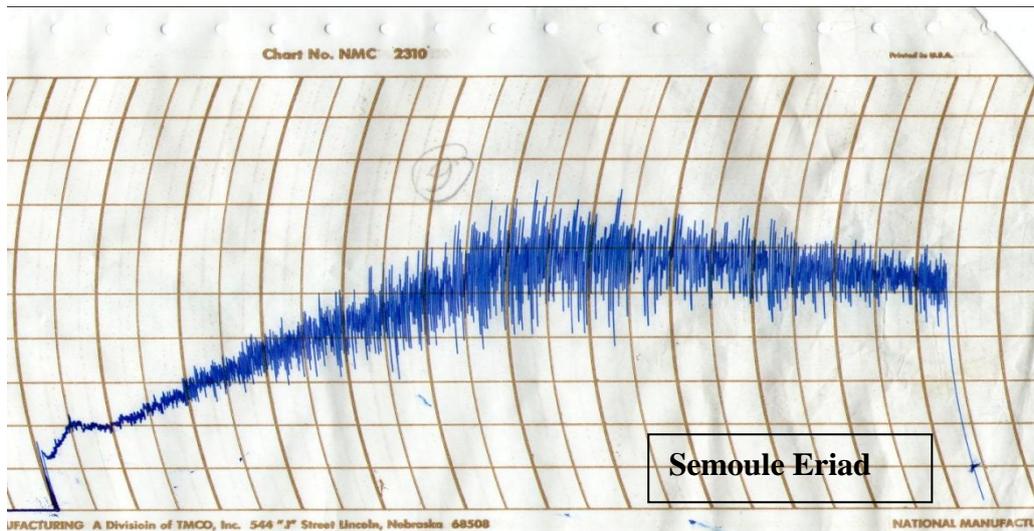
Annexes

ANNEXES

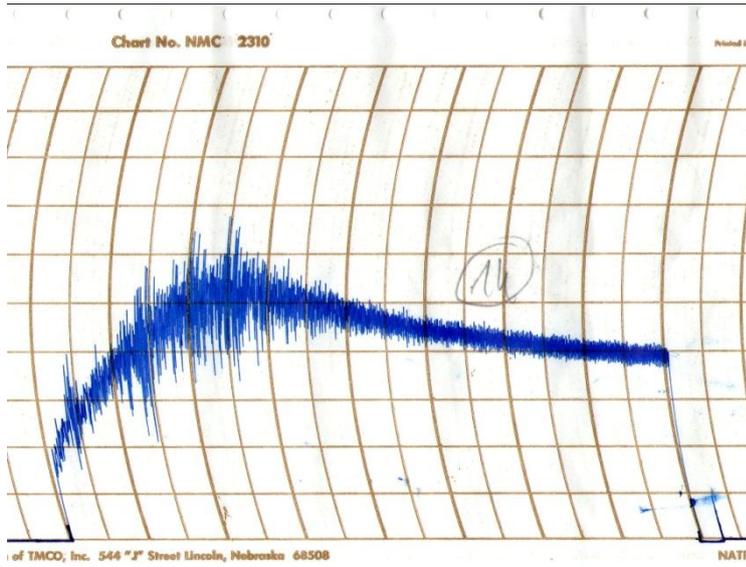
Annexe n° 1: Table de correspondance de la quantité d'eau à ajouter en fonction de la teneur en protéines pour le mixographe (capacité 10 g du bol), Université américaine du Nord DACOSTA : station d'agriculture (Département de technologie des céréales, 1987).

Teneur en protéines (%)	Quantité d'eau à ajouter (ml)
16,0	6,60
15,5	6,55
15,0	6,50
14,5	6,45
14,0	6,40
13,5	6,35
13,0	6,30
12,9	6,29
12,8	6,28
12,7	6,27
12,6	6,26
12,5	6,25
12,4	6,24
12,3	6,23
12,2	6,22
12,1	6,21
12,0	6,20
11,9	6,19
11,8	6,18
11,7	6,17
11,6	6,16
11,5	6,15
11,4	6,14
11,3	6,13
11,2	6,12
11,1	6,11
11,0	6,10
10,9	6,09
10,8	6,08
10,7	6,07
10,6	6,06
10,5	6,05
10,4	6,04
10,3	6,03
10,2	6,02
10,1	6,01
10,0	6,00

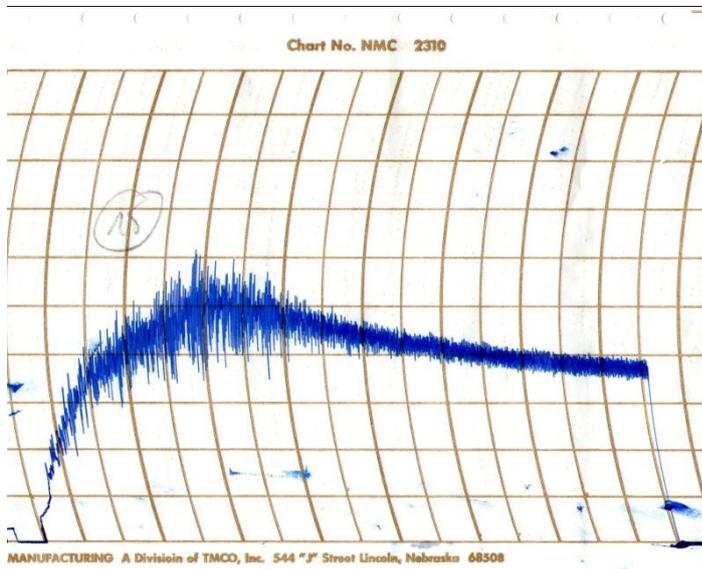
Annexe 2 : Mixogrammes des semoules étudiées



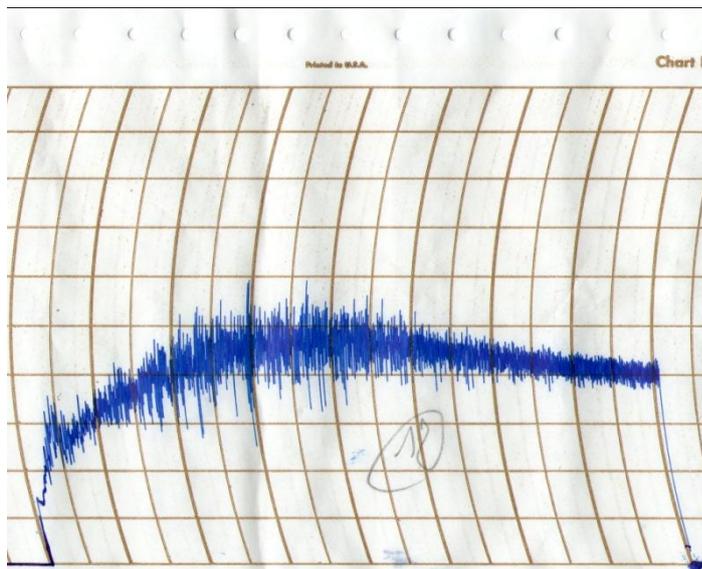
ANNEXES



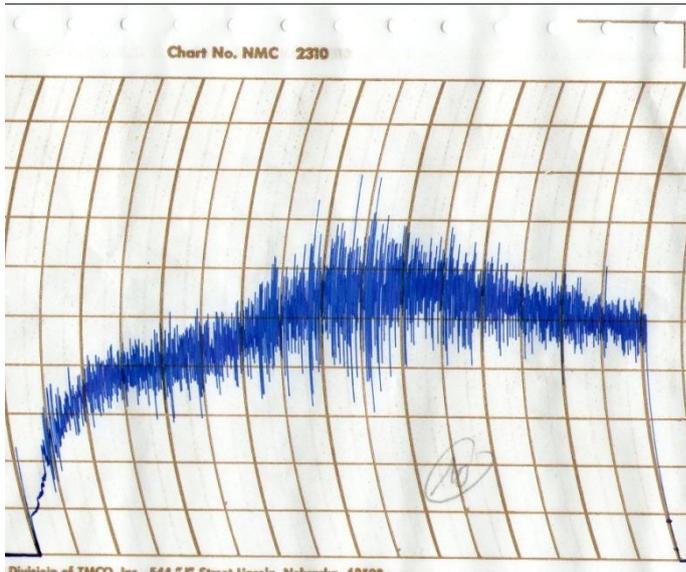
Chen's Alger



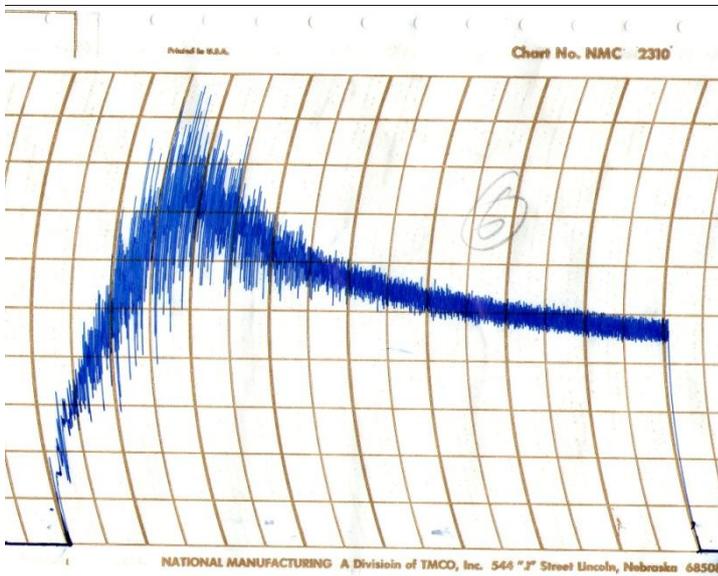
Waha BBA



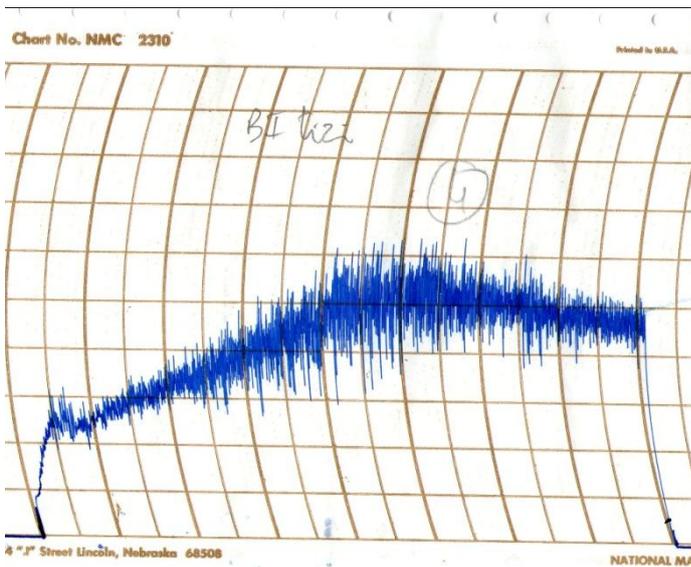
Boussallem BBA



BI Eriad

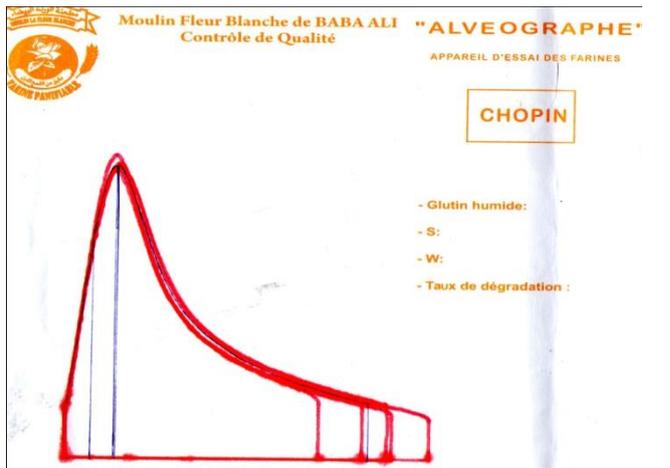


Gta dur BBA

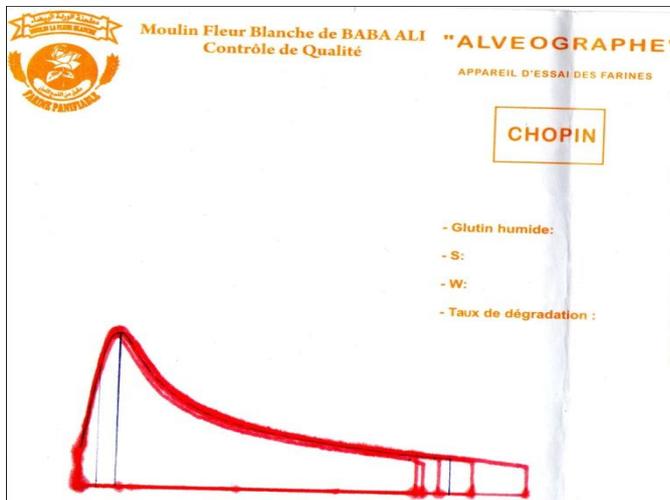


BI Baghlia

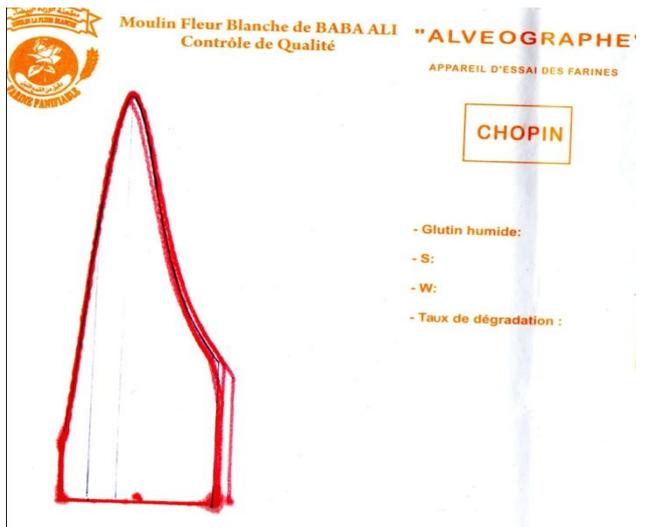
Annexe 3 : Alvéogrammes des semoules étudiées



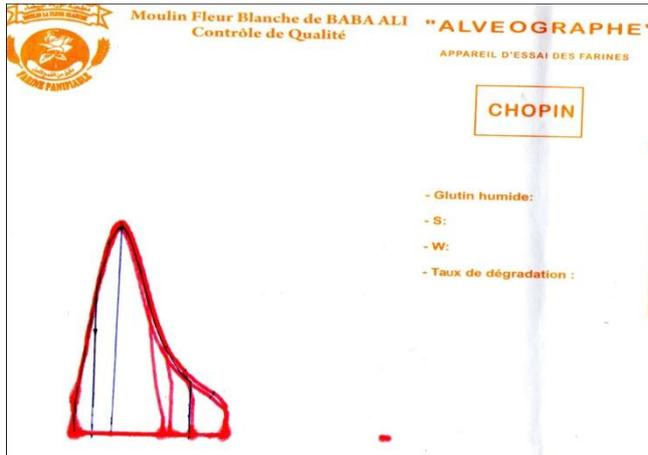
Chen's Alger



Semoule Eriad



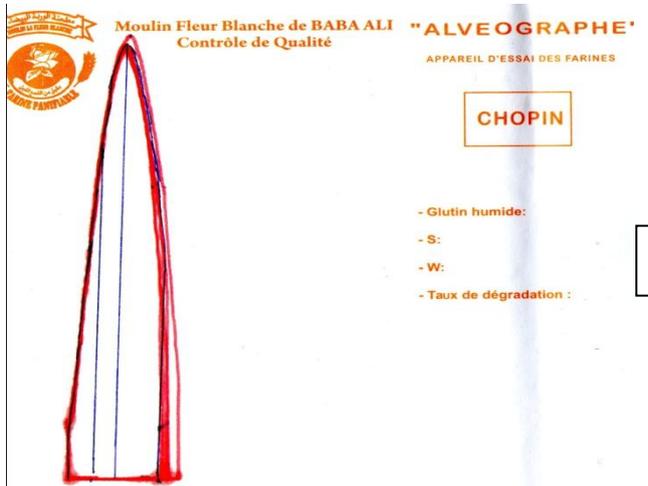
BI Baghlia



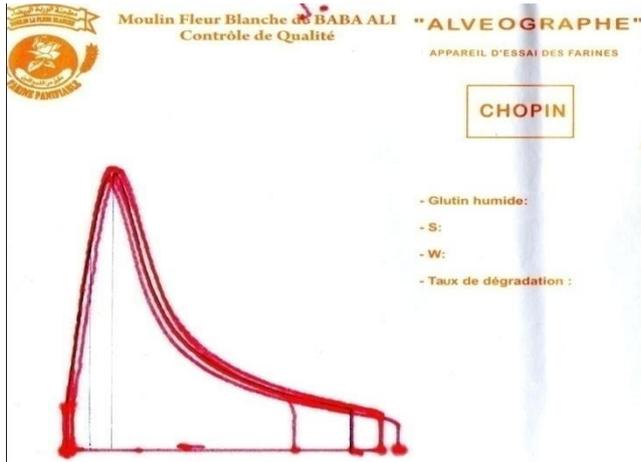
Boussallem BBA



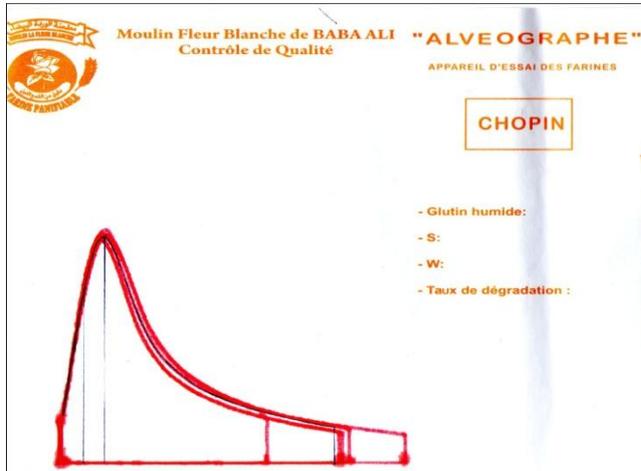
BI Eriad



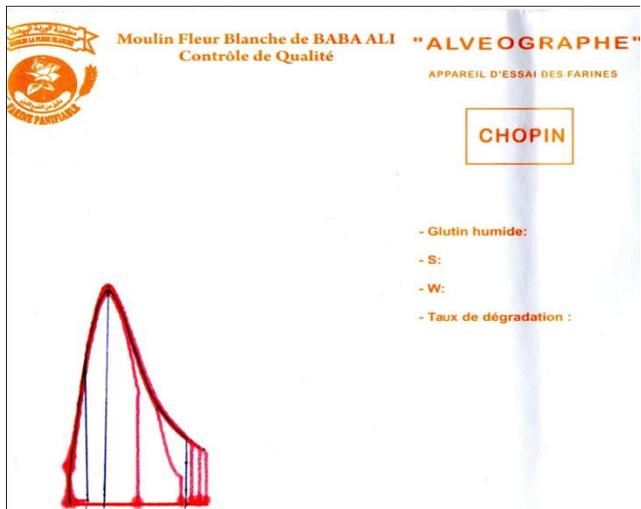
Gta dur Alger



Gta dur BBA



Vitron



Waha BBA

Annexe 4 : Protocole général de dosage des protéines par spectrophotométrie UV (CHOI *et al.*, 1993)

1- Matériels :

- Spectrophotomètre UV visible
- Cuve de spectrophotomètre

2- Réactifs :

- TCA (50 % v/v)
- BSA solution standardisée (100 µg/ml)

3- Mode opératoire :

3.1 Conditions générales de réalisation :

Pour réaliser le dosage certaines conditions doivent être remplies :

- La réaction doit donner une coloration ou une opacité proportionnelle à la concentration.
- La coloration ou l'opacité doit être stable le temps de faire les mesures.
- Le composé analysé doit être en très faible concentration (si non diluer).
- Une gamme d'étalonnage doit être réalisée dans les mêmes conditions physicochimiques que les essais.
- La longueur d'onde doit être celle qui permet la plus forte absorbance possible.

3.2 Réalisation d'une gamme d'étalonnage :

Pour régler le spectrophotomètre, la réalisation d'une gamme d'étalonnage est indispensable. Cette gamme permet de déterminer une absorbance à une longueur d'onde donnée pour un tube donné ou une cuve de spectrophotomètre donnée pour une concentration en composé recherché.

Il faut donc préparer une solution de l'élément à doser (BSA dans notre cas) de faible concentration. Pour la réalisation de la gamme d'étalonnage ou du dosage, le volume final du liquide dans chaque tube doit être identique or les volumes de réactif (dans notre cas le réactif c'est le TCA) doivent être constant dans chaque tube pour permettre la réaction et les

concentrations de composé à doser doivent varier dans chaque tube, donc on complète avec de l'eau distillée à un même volume.

Un blanc doit être réalisé impérativement pour annuler l'absorbance due aux réactifs eux même, ce tube ne contient pas l'échantillon de composé à doser.

3.3 Réalisation d'un tableau spectrophotométrique :

La réalisation d'un tableau spectrophotométrique permet d'éviter des erreurs de la réalisation de protocole et de noter les résultats.

Tableau 20 : Dosage du BSA par TCA

N° tube	0	1	2	3	4	5
Concentration BSA (µg/ml)	0	20	40	60	80	100
Volume BSA (ml)	0	0,2	0,4	0,6	0,8	1
Volume d'Eau (ml)	1	0,8	0,6	0,4	0,2	0
Volume TCA (ml)	1	1	1	1	1	1
Absorbance à 450 nm	0	0,069	0,158	0,248	0,355	0,468

3.4 Courbe d'étalonnage :

Après l'obtention des valeurs d'absorbance à 450 nm, on trace la courbe en fonction des concentrations de composé : $D_o = f(\text{concentration de BSA})$

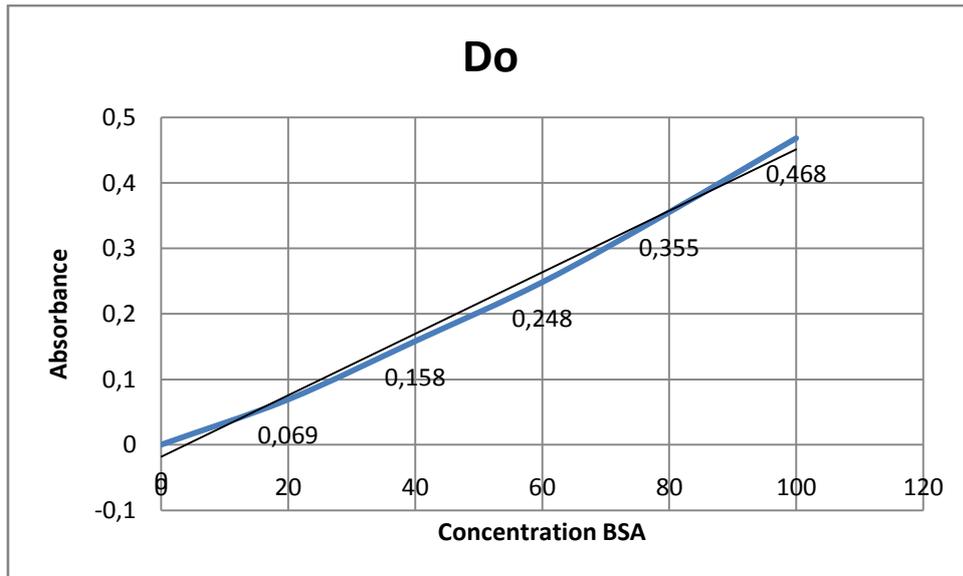


Figure 30 : Courbe d'étalonnage de BSA

3.5 Expression des résultats :

A partir de cette proportionnalité (courbe d'étalonnage) on peut déterminer la quantité de protéines contenue dans un volume de prise d'essai de l'échantillon à doser, on déduit alors la concentration de la protéine à doser.

Les résultats sont exprimés en % de chaque fraction par rapport aux protéines totales (100 %).

% de fraction protéique par rapport aux protéines totales = $(X/P) \cdot 100$

X : Concentration correspondante à l'absorbance de la solution protéique analysée (solution d'albumines-globulines, de gliadines, ou de gluténines).

P : prise d'essai de l'échantillon analysé.

Annexe 5 : Dosage de l'amidon total et de l'amidon endommagé de la semoule par la méthode enzymatique (Megazyme)

❖ **Pour l'amidon total :**

1- Définition :

L'amidon constitue la substance de réserve de nombreux végétaux. Présent sous forme de granules, il est composé d'amylose et d'amylopectine. Ces deux composés sont des polymères d'anhydro-D-glucose, dont les molécules sont liées par des liaisons glucosidiques essentiellement α -1,4- pour l'amylose (structure linéaire) et avec des branchements (liaisons α -1,6) reliant de courtes chaînes linéaires (15 à 35 monomères) pour l'amylopectine (structure ramifiée).

2- Principe :

L'amidon est dispersé à l'aide d'hydroxyde de sodium, hydrolysé en glucose par action de l'amyloglucosidase, et le glucose libéré dosé par un système oxydoréducteur enzyme-colorant. On dose par ailleurs le glucose soluble par le même système oxydoréducteur enzyme-colorant. La teneur en amidon est obtenue en soustrayant cette valeur au glucose total libéré après action de l'amyloglucosidase.

3- Réactifs :

- Thermostable α -amylase (10 ml, 3,000 U/ml dans Ceralpha reagent à pH 6,5 et 40°C ou 1600 U/ml dans Ceralpha reagent à pH 5,0 et 40°C).
- Amyloglucosidase (10 ml, 3300 U/ml dans l'amidon soluble à pH 4,5 et 40°C).
- GOPOD Reagent Buffer.
- GOPOD Reagent Enzymes.
- Solution standard D-Glucose.
- Solution de soude (hydroxyde de sodium) 1 N.
- Ethanol absolu.
- Eau distillée.
- Amidon natif de maïs (de même nature que les échantillons).

4- Appareillage :

- Tube à essai en verre (fond rond; 16 x 120 mm ou 18 x 150 mm).
- Pipettes automatiques.
- Agitateurs type Vortex et rotatif.
- Centrifugeuse de paillasse.
- Bain marie à 50 °C.
- Bain marie bouillante.
- Balance analytique de précision.
- Spectrophotomètre visible à 510 nm.
- Chronomètre.

5- Procédure :

5.1 Préparation des solutions :

5.1.1 Tampon acétate de sodium (pH 5.0, 100 mM) (A)

Laisser se dissoudre dans un bécher 13,6 g/1L, ajuster avec quelques gouttes d'acide acétique glacial à pH=5. Compléter à 1 L dans une fiole jaugée.

5.1.2 Solution de Thermostable α -amylase (B)

Diluer 1 ml de Thermostable α -amylase (contenue dans le flacon 1 du kit) à 30 ml avec de la solution tampon d'acétate de sodium (pH 5.0, 100 mM). La solution est répartie sur des tubes en polypropylène puis conservée à -20 °C même durant l'utilisation si c'est possible.

5.1.3 Solution GOPOD :

Diluer le flacon GOPOD Reagent Buffer à 1 L avec de l'eau distillée (solution C). Utiliser immédiatement.

Dissoudre le flacon GOPOD Reagent Enzymes dans 20 ml de la solution C puis transférer le mélange au flacon contenant le reste de la solution C. Couvrir ce flacon avec du papier aluminium pour protéger la solution de la lumière. Cette solution constitue le GOPOD Reagent qui est utilisé pour la détermination du Glucose.

5.2 Dosage de l'amidon total:

- Dans les tubes à essai, peser précisément 100 mg de semoule puis taper les tubes pour s'assurer que tous les granules de semoule tombent au fond du tube.
- Ajouter 2 ml d'éthanol (80 % v/v) pour humidifier et disperser l'échantillon puis agiter au vortex.
- Immédiatement ajouter 3 ml de la solution de thermostable α -amylase (A), et incuber les tubes dans de l'eau bouillante pendant 6 min (agiter les tubes au vortex vigoureusement après 2,4 et 6 min).
- Placer les tubes dans un bain marie à 50 °C, ajouter 0,1 ml d'amyloglucosidase. Agiter au vortex et incuber les tubes à 50 °C pendant 30 min.
- Transférer tout le contenu des tubes dans des fioles de 100 ml en rinçant les tubes à l'aide d'une pissette d'eau distillée et ajuster au trait de jauge avec de l'eau distillée puis agiter les fioles brusquement. Centrifuger un aliquote de cette solution à 3000 tpm pendant 10 min. Utiliser le surnageant pour le reste de la manipulation.
- Transférer un aliquote (0,1 ml) de la solution en duplicata au fond des tubes à essai (16 x 100 mm).
- Préparer le blanc et la solution contrôle D-Glucose. Le blanc consiste en 0,1 ml d'eau distillée, et la solution contrôle consiste en 0,1 ml de la solution standard D-Glucose.
- Ajouter 3 ml de GOPOD Reagent à chaque tube (y compris le blanc et la solution contrôle D-Glucose) et incuber les tubes à 50 °C pendant 10 min.
- Lire l'absorbance à 510 nm.

6- Calculs :

$$\begin{aligned} \text{Amidon \%} &= \Delta_A \times F \times \frac{FV}{0,1} \times \frac{1}{1000} \times \frac{100}{W} \times \frac{162}{180} \\ &= \Delta_A \times \frac{F}{W} \times FV \times 0,9 \end{aligned}$$

Δ_A : Absorbance

$$F = \frac{100 \text{ (}\mu\text{g de D-glucose)}}{\text{absorbance pour } 100 \text{ }\mu\text{g de glucose}} \text{ (conversion de l'absorbance au } \mu\text{g)}$$

FV : Volume final

0,1 : Volume de l'échantillon analysé

1/1000 : Conversion du μg au mg

100/W : Facteur pour exprimer l'amidon comme un pourcentage de poids de la farine.

W : le poids en mg de la semoule analysée

162/180 : ajustement de D-glucose libre au D-glucose anhydre.

$$\text{Amidon \% MS} : \text{Amidon \%} \times \frac{100}{100-H\%}$$

❖ **Pour l'amidon endommagé :**

1- Préparation des solutions :

1.1 Préparation de la solution tampon acétate de Sodium (100 Mm, pH 5), stockage au froid: voir amidon total.

1.2 Acide sulfurique dilué (0,2 v/v)

Dans une fiole de jaugee de 1 L, verser 2 ml d'H₂SO₄ concentré puis compléter au trait de jauge avec de l'eau distillée.

2-Préparation des solutions enzymatiques :

2.1 Fungal α -amylase :

Diluer un aliquote (1 ml) de la solution fungal du kit avec 19 ml d'acétate de sodium tampon (100 mM, pH 5). Stocker la solution au froid avant l'ajout de la solution.

2.2 Amyloglucosidase :

Diluer un aliquote (1 ml) de la solution amyloglucosidase du kit avec 9 ml d'acétate de sodium tampon (100 mM, pH 5). Stocker la solution au froid avant l'utilisation.

2.3 Réactif GOPOD :

Voir amidon total.

3- Dosage :

- ✓ Allumer le bain marie sur 40 °C
- ✓ Pré-équilibrer la solution de fungal α -amylase à 40 °C (5-10 min)
- ✓ Peser 100 mg exactement de semoule dans un tube à centrifuger de 10 ml (farine témoin comprise)

- ✓ Pré-équilibrer les tubes à 40 °C avant l'addition de la solution de fungal α -amylase
- ✓ Additionner 1 ml de fungal α -amylase
- ✓ Agiter au vortex 5 secondes
- ✓ Incuber exactement 10 minutes à 40 °C
- ✓ Ajouter 5 ml d'acide sulfurique dilué
- ✓ Centrifuger 5 min à 3000 tpm
- ✓ Prélever 2 x 0,1 ml de surnageant et transférer dans 2 tubes
- ✓ Additionner 0,1 ml d'amyloglucosidase
- ✓ Incuber les tubes à 40 °C pendant 10 minutes
- ✓ Ajouter 4 ml de réactif GOPOD dans chaque tube y compris la solution de glucose standard et le blanc (Blanc : 0,2 ml acétate de Na, glucose standard : 0,1 ml d'acétate de Na + 0,1 ml de glucose standard fourni du kit)
- ✓ Incuber à 40 °C pendant 20 min
- ✓ Mesurer l'absorbance à 510 nm pour chaque échantillon.

4- Calculs :

$$\begin{aligned} \text{Amidon endommagé (\%)} &= \Delta_E \times F \times 90 \times \frac{1}{1000} \times \frac{100}{W} \times \frac{162}{180} \\ &= \Delta_E \times \frac{F}{W} \times 8,1 \end{aligned}$$

Δ_E : Absorbance

$F = \frac{150 \text{ (}\mu\text{g de glucose)}}{\text{absorbance pour } 150 \mu\text{g de glucose}}$ (conversion de l'absorbance au μg)

90 : Volume de correction

1/1000 : Conversion du μg au mg

100/W : Facteur pour exprimer l'amidon comme un pourcentage de poids de la farine.

W : Le poids en mg de la semoule analysée

162/180 : Ajustement du glucose libre au glucose anhydre.