

*Contribution à une meilleure connaissance  
des relations entre la composition  
protéique des farines et leurs  
caractéristiques alvéographiques*

**Présenté par : Melle BELALOUI Djahida**

Promoteur : M<sup>r</sup> SADOUKIH. Maitre de conférences (E.N.S.A. El Harrach).  
Soutenu le : 07 / 05 /2012

Jury: Président : M<sup>r</sup> **BELLAL M.M.** Professeur (E.N.S.A. El Harrach). Examineurs : M<sup>me</sup>  
**OUNANE G.** Maitre de conférences (E.N.S.A. El Harrach). M<sup>me</sup> **MEKLICHE L.** Professeur (E.N.S.A.  
El Harrach).



# Table des matières

Remerciements . .	5
Dédicace . .	6
LISTE DES ABREVIATIONS . .	7
Résumé . .	9
Abstract . .	10
صغلم . .	11
INTRODUCTION . .	12
PREMIERE PARTIE ÉTUDE BIBLIOGRAPHIQUE . .	14
I. LE GRAIN DE BLE TENDRE . .	14
II. NOTION DE QUALITE DU BLE TENDRE . .	14
II.1 Valeur meunière . .	14
II.2 Valeur boulangère . .	15
III TESTS D'APPRECIATION DE LA QUALITE BOULANGERE . .	16
III.1 Tests directs (essai de panification) . .	16
III.2 Tests indirects . .	16
III.3 Tests sélection . .	16
IV. CLASSIFICATION DES PROTEINES DE BLE TENDRE . .	18
IV.1 Classification selon la solubilité . .	18
IV.2 Classification selon la fonctionnalité . .	18
V CARACTERISTIQUES DES DIFFERENTS GROUPES PROTEIQUES DU BLE TENDRE . .	22
V.1 Les albumines/globulines . .	22
V.2 Les gliadines . .	22
V.3 Les Gluténines . .	23
VI. ROLE DES PROTEINES DANS LA QUALITE BOULANGERE . .	24
VI.1 Contribution des albumines-globulines à la qualité boulangère . .	25
VI.2 Contribution des protéines du gluten à la qualité boulangère . .	25
VI.3 Interactions des protéines du gluten et qualité boulangère . .	28
VII METHODES DE FRACTIONNEMENT DES PROTEINES DE BLE TENDRE . .	29
DEUXIEME PARTIE MATERIEL ET METHODES . .	31
I. MATERIEL VEGETAL . .	31
II. METHODES ANALYTIQUES . .	31
II.1 Mouture des blés . .	31
II.2 Teneur en eau . .	31
II.3 Rhéologie : Essai à l'alvéographe CHOPIN . .	33
II.4 Analyses biochimiques . .	36
III ANALYSE STATISTIQUE . .	38
TROISIEME PARTIE RESULTATS ET DISCUSSION . .	39
I. HUMIDITE . .	39
I.1 Humidité des grains . .	39
I.2 Humidité des farines . .	39

<b>II TESTS TECHNOLOGIQUES . .</b>	<b>40</b>
<b>II.1 Taux d'extraction . .</b>	<b>40</b>
<b>II.2 Essai à l'alvéographe . .</b>	<b>42</b>
<b>III ANALYSES BIOCHIMIQUES . .</b>	<b>46</b>
<b>III.1 Teneur en protéines totales . .</b>	<b>46</b>
<b>III.2 Teneurs en différentes fractions protéiques . .</b>	<b>47</b>
<b>III.3 Ratios des fractions protéiques . .</b>	<b>49</b>
<b>IV CORRELATIONS ENTRE LES TESTS D'APPRECIATION DE LA QUALITE EFFECTUEES (Coefficient de corrélation de PEARSON « r ») . .</b>	<b>52</b>
<b>IV.1 Corrélations entre les paramètres alvéographiques . .</b>	<b>52</b>
<b>IV.2 Corrélations entre les teneurs en protéines totales et les différentes fractions protéiques . .</b>	<b>53</b>
<b>IV.3 Corrélations entre les différentes fractions protéiques et leurs ratios, et les paramètres rhéologiques de la pâte . .</b>	<b>54</b>
<b>CONCLUSION . .</b>	<b>61</b>
<b>REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES . .</b>	<b>64</b>
<b>Annexes . .</b>	<b>73</b>
ANNEXE 1 PRODUCTION ETRENDLEMENT DOUBLEET DU BLETENDRE (1980-2010) . .	73
ANNEXE 2 EXEMPLE D'ALVEOGRAMMES . .	75
ANNEXE 3 VALEURS DES DIFFERENTS ESSAIS DE FRACTIONNEMENT SEQUENTIEL DES PROTEINES . .	77

## Remerciements

Je tiens tout d'abord à adresser mes remerciements à mon promoteur, Monsieur **SADOUKI H.**, maître de conférences classe A à l'E.N.S.A., pour la direction avisée et exigeante à laquelle ce mémoire doit beaucoup ainsi que pour sa disponibilité tout au long de sa réalisation.

Mes remerciements s'adressent également à Monsieur **BELLAL M.M.**, professeur à l'E.N.S.A. pour m'avoir fait l'honneur de présider mon jury, ainsi qu'à Madame **OUNANE G.**, maître de conférences à l'E.N.S.A. et Madame **MEKLCHE L.**, professeur à l'E.N.S.A. pour avoir bien voulu faire partie de mon jury.

Que soit également remercié ici Monsieur **BENCHABANE A.** pour la confiance et l'appui qu'il m'a accordés, au sein du laboratoire de technologie, tout au long de la réalisation de ce travail.

Je témoigne toute ma reconnaissance amicale à **Fella, Houda, Khawla et Nadir** pour leur disponibilité et leur précieuse aide tant sur le plan pratique que sur le plan humain.

Un grand merci aussi à **Soraya et Chahinez** pour leur gentillesse, leur soutien et surtout pour toutes les distillations que nous avons partagées !!

Je ne saurais oublier de remercier ici le personnel du laboratoire de technologie de l'E.N.S.A. : **Fatma Zohra, El-Arbi, Mohamed analyse, Mohamed microbio** et **Fatima** la secrétaire du département.

Je remercie également **Mina et Redouane** pédo pour leur appui et leur aide, ainsi que le personnel du laboratoire de technologie des céréales de l'**I.T.G.C.** (El-Harrach) et le personnel du laboratoire de rhéologie de l'**O.A.I.C.** (CHERAGA).

Enfin, je remercie toutes les personnes qui, d'une manière ou d'une autre, m'ont aidé à mener à terme ce travail.

## Dédicace

*À mon cher Père pour l'encouragement et le soutien inconditionnels qu'il m'a toujours accordés, et à ma chère Mère qui a attendu longtemps et durement l'arrivée de ce jour !! Alors pour tous vos sacrifices, votre patience et dévouement au bien-être de vos enfants et petits enfants, je vous dédie ce modeste travail qui est un peu le votre !! À mes chers frères et sœurs : Wahiba, Sabrina, Lyes, Hamza, Nabila et Salima ainsi qu'à ma belle sœur Hager. À mes neveux et nièces adorés : Sara, Zineddine, Yanis, Tinhinane, Ryma, Myriam, Rayane, Ali, Mehdi, Tarik, Sami, Malek et la toute dernière Yasmine au sourire généreux !! À Samira et à toute sa famille, en souvenir du bon vieux temps !!!! À Fella et Houda, pour l'implication dont vous avez fait preuve sur tous les plans, et pour avoir enrichi cette année d'une dimension humaine inestimable ! À mes amies : Le groupe des cinq « Hafida, Khadidja, Razika, Safia et Wafa » ainsi qu'à Tidia pour sa présence et pour avoir partagé avec moi les moments de stress. À mes amis : Fariza, Soraya, Chahinez, Nadir, Khawla et Yahya. À mes collègues et amies avec qui j'ai partagé des moments très agréables : Djamilia, Houria, Lilia, Samira et Zahida. Djahida*

---

## LISTE DES ABREVIATIONS

- **A.F.N.O.R.** :Association Française de NORmalisation
- **A.G.** : Albumines et Globulines.
- **AACC**:American Association of Cereal Chemists.
- **AC-NH<sub>4</sub> 100% MeOH** : acétate d'ammonium dans le méthanol à 100%.
- **A-PAGE** :Acid- Polyacrylamide Gel Electrophoresis.
- **B.I.P.E.A.**:Bureau Interprofessionnel des Etudes Analytiques.
- **C.N.E.R.N.A.** : Centre National des Etudes et Recherches sur la Nutrition et L'Alimentation.
- **C**:Culot.
- **Cys** : Cystéine.
- **DTT**: Dithiothreitol.
- **FAO**:Food and Agriculture Organization.
- **g** :gramme.
- **Gli.** : Gliadine.
- **Gln** : Glutamine.
- **Glu. Sol.** : Gluténines solubles.
- **Gly**: Glycine.
- **H.P.L.C.**: High Pressure Liquid Chromatography.
- **I.S.O.**: International Standardisation Organization.
- **I.T.G.C.** :Institut Technique des Grandes Cultures.
- **IPP** : insoluble polymeric proteins
- **Kg**:Kilogramme.
- **Lys** : **Lysine**.
- **M.A.D.R.**: Ministère de l'Agriculture et du Développement Rural.
- **M.S.** :Matière Sèche.
- **M**:Molaire.
- **min** : minute.
- **mm**:millimètre.
- **NaCl**: Chlorure de sodium.
- **P** :Précipité.
- **P. Ins.** : Protéines insolubles.
- **P. Mon.** : Protéines Monomériques.
- **P. Poly.**: Protéines Polymériques.
- **P.Sol.** : Protéines Solubles.
- **P.T.** :Protéines Totales.
- **pH** :potentiel Hydrogène.
- **Phe** : Phénylalanine.

- **Pro**: Proline.
- **Prop** : Propanol.
- **qx** : quintaux
- **ha** : hectare
- **r**: Coefficient de corrélation linéaire
- **RP-HPLC**:Reversed Phase-High Pressure Liquid Chromatography.
- **S**: Surnageant.
- **SDS** : Sodium Dodécyl Sulfate.
- **SDS-PAGE**:Sodium Dodécyl Sulfate - Polyacrylamide Gel Electrophoresis.
- **SIG** :Swelling Index of Gluténin (indice de gonflement des gluténines).
- **SIG-SDS** :indice de gonflement des gluténines dans le SDS ( Swelling Index of Gluténin with Sodium Dodécyl Sulfate)
- **SPP** : soluble polymeric proteins
- **SU-FPM** : Sous unités à faible poids moléculaire (LMWG S.U).
- **SU-HPM** : Sous unités à haut poids moléculaire (HMWG S.U).
- **Tyr**:Tyrosine.



---

## Résumé

L'objectif de cette étude est la détermination des caractéristiques alvéographiques de 43 échantillons de blé tendre représentant 39 génotypes au total, l'extraction et la quantification des fractions protéiques solubles et insolubles afin d'élucider les relations qui existent entre celles-ci et les caractéristiques alvéographiques.

Pour le fractionnement séquentiel, les protéines monomériques ont été solubilisées et séparées des protéines polymériques selon la méthode de **LI** et *al.* (2008), puis les gluténines solubles ont été extraites à partir des résidus selon la méthode de **WANG** et **KOVACS** (2002), enfin les gliadines ont été précipitées à partir des protéines monomériques suivant la méthode de **DUPONT** et *al.* (2005). Les protéines totales et les protéines des différentes fractions obtenues ont été dosées par la méthode de Kjeldahl.

L'analyse technologique des échantillons a révélé que la majorité des blés étudiés sont des blés de force, les autres sont des blés panifiables courants.

L'analyse statistique des résultats a révélé que : 1- Le paramètre alvéographique le plus fermement lié à la force W est, dans notre étude, la ténacité P. 2- Les quantités relatives des fractions protéiques étudiées, du fait de leur indépendance vis à vis des teneurs en protéines totales, peuvent constituer une bonne mesure de la qualité technologique intrinsèque des blés. 3- Les protéines insolubles et protéines polymériques (par rapport aux protéines totale et à la matière sèche), les gluténines solubles et les protéines solubles (par rapport à la matière sèche) sont, avec les protéines totales, les fractions les plus étroitement associées à la force W et à la ténacité P.

**Mots clés** : blé tendre – fractions protéiques – force alvéographique.

## **Abstract**

The objective of this study is the determination of alveographic characteristics of 43 soft wheat samples representing 39 genotypes, extraction and quantification of soluble and insoluble protein fractions in order to elucidate the relationships between these fractions and the alveographic characteristics.

For these sequential fractionation, monomeric proteins were separated from polymeric proteins by the method of LI and al. (2008), then soluble glutenins were extracted from pellets by the method of WANG and KOVACS (2002), finally gliadins were precipitated from the monomeric proteins following the method of DUPONT and al. (2005). Total proteins and proteins of the different fractions were quantified by the Kjeldahl method.

The technological analysis of samples revealed that the majority of the studied wheats are strong wheats, the others are common breeding wheats.

Statistical analysis of the results revealed that : 1- The alveographic parameter most firmly tied to the strength W is, in our study, the tenacity P. 2- The relative amounts of studied protein fractions, because of their independence from the levels of total protein, can be a good measurement of the intrinsic technological quality of wheat. 3- The insoluble proteins and polymeric proteins (relative to total protein and dry matter), followed by soluble glutenins and soluble proteins (relative to dry matter) are, with total proteins, the most closely related fractions to the strength W and tenacity P.

**Key words** : soft wheat – protein fractions — alvéographic strength

## ص خ لم

الهدف من هذا الدراسة هو تحديد بعض الخصائص الجغرافية (alvéographiques) لـ 43 عينة من الفصائل المشتملة في 39 صنف جيني ثم استخرج وتقييم كمية الأجزاء البروتينية القابلة للأوبانو غير القابلة للأوبانو وتوضيح العلاقة التي توجد بين هذه الأجزاء و الخصائص الجغرافية.

من أجل إنجاز التجزئة المتكاملة تم تدوين وفصل البروتينات البسيطة (monomériques) من البروتينات المعقدة (polymériques) بطريقة [1] وآخرون (2008)، تم استخدام الخلوينات الذاتية من البروتينات البسيطة بالطريقة WANG و KOVACS (2002) [2] وأخيراً تم استخدام سبائك البروتينات البسيطة بالطريقة DUPONT وآخرون (2005). تم تقييم البروتينات الكبريتية وبتنوعاً للأجزاء المنحصلة بالطريقة كجالدال (Kjeldahl).

الدراسة التكنولوجية أظهرت أن معظم عينات الفصح عبارة عن فصح قوي، الباقى عبارة عن فصح قابل للخبز عادى.

من خلال التحليل لإحصائيات النتائج، إتضح لنا أن: 1- انخاصية الجغرافية الأكثر ارتباطاً بالقوة W في دراستنا هي الصلابة P. 2- الكميات المسببة للأجزاء البروتينية المدروسة يمكن أن تشكل مقياساً حسناً للجودة التكنولوجية الذاتية للفصح و هذا بسبب عدم ارتباطها بكمية البروتين الكلى. 3 البروتينات غير القابلة للأوبانو البروتينات المعقدة (نسبة إلى البروتينات الجافة)، تليها الخلوينات الذاتية البروتينات الذاتية (نسبة إلى المادة الجافة) هي، مع البروتين الكلى، الأجزاء الأكثر ارتباطاً بالقوة (V) و بالصلابة (P).

الكلمات المفتاحية: الفصائل - أجزاء البروتين - القوة الجغرافية

# INTRODUCTION

Les céréales, notamment le blé ont toujours occupé une place primordiale dans l'alimentation humaine.

Selon le **M.A.D.R.**, le blé occupe environ 60% de la sole céréalière algérienne (environ 3,5 millions d'hectares) avec 20% de blé tendre et 40% blé dur. Toutefois, la production du blé en Algérie est très instable et varie d'année en année car elle est fortement tributaire des conditions climatiques. Par ailleurs, même si le blé figure parmi les aliments de base de la population algérienne et que les producteurs se font fort de répondre à la demande sans cesse croissante en cette denrée, la production nationale demeure insuffisante, ce qui contraint le pays à recourir aux importations dont la moyenne a été de 53,2 millions de quintaux pour la période 1999-2009(**FAO**, 2009).

C'est pourquoi, par le biais de programmes de sélection variétale lancés depuis plusieurs années, l'Algérie doit sélectionner des variétés à haut rendement sans négliger l'aspect qualitatif afin d'éviter la sélection de blés de qualité médiocre (impanifiable) du fait de la relation inverse rendement / qualité maintes fois démontrée. Par ailleurs en plus de la quantité, le consommateur d'aujourd'hui est de plus en plus exigeant en termes de qualité des produits finis, ce qui nécessite un blé de bonne qualité technologique. Cette dernière est actuellement très recherchée et est devenue l'un des principaux objectifs dans les programmes de sélection et d'amélioration des blés.

Pendant la qualité est un caractère très complexe, c'est pourquoi les programmes de recherche de par le monde se sont focalisés sur l'étude des bases biochimiques qui la régissent. Mais il est, actuellement, largement admis que parmi les constituants de la farine de blé, ce sont les protéines qui apportent la majeure contribution dans la qualité d'utilisation, notamment les protéines de réserve (gliadines et gluténines) qui sont responsables des propriétés viscoélastiques de la pâte.

Dans cette optique, différentes méthodes de séparation des protéines ont été mises au point au fil des années afin d'étudier leur rôle dans la qualité des blés, mais les méthodes modernes (HPLC, RP-HPLC, électrophorèse bidimensionnelle, ...) ont révélé que la plupart de ces méthodes ne fournissaient pas une séparation nette entre fractions (chevauchement), de plus des contradictions entre les résultats obtenus ont été observées quant à la contribution exacte de chacune des fractions, d'où la nécessité de mise au point de techniques plus performantes permettant des séparations de protéines en fractions plus homogènes et exhaustives (donc sans chevauchement des différentes fractions) afin de mieux élucider le rôle de chaque fraction protéique dans les caractéristiques de la qualité boulangère.

Dans ce sens, le premier objectif du présent travail est de quantifier les teneurs en protéines des différentes fractions protéiques (albumines-globulines, gliadines, gluténines solubles, protéines monomériques, protéines insolubles, ...) séparées par les techniques de fractionnement les plus récentes. Le second objectif est la détermination des relations possibles entre les fractions protéiques ainsi séparées et les caractéristiques alvéographiques des farines de blé étudiées. Le troisième objectif est la détermination des aptitudes technologiques de 43 échantillons de blé tendre à travers leurs caractéristiques alvéographiques.

Ce travail comporte trois parties :

- Une étude technologique effectuée par le biais de mesures rhéologiques (alvéographe).
- Une étude biochimique qui a consisté au fractionnement séquentiel des protéines par la combinaison de trois techniques récentes afin d'obtenir des fractions protéiques les plus pures possibles.
- Une étude statistique des relations possibles entre les différentes fractions protéiques obtenues et les caractéristiques alvéographiques.

# PREMIERE PARTIE ÉTUDE BIBLIOGRAPHIQUE

## I. LE GRAIN DE BLE TENDRE

Le grain de blé est principalement constitué d'amidon (environ 70%), de protéines (10 à 15% selon les variétés et les conditions de culture) et de pentosanes (8 à 10%) ; les autres constituants, pondéralement mineurs (quelques % seulement), sont les lipides, la cellulose, les sucres libres, les minéraux et les vitamines **FEILLET (2000) [tableau 1]**.

Tableau 1 : Composition chimique du grain de blé (limites habituelles de variation)

Nature des composants	Teneur (% MS)
Protéines	10 – 15
Amidon	67 – 71
Pentosanes	8 – 10
Cellulose	2 – 4
Sucres libres	2 – 3
Lipides	2 – 3
Matières minérales	1.5 – 2.5

Source : **FEILLET (2000)**

L'albumen ou l'amande farineuse (84 % du poids du grain) est la partie du grain qui donne la farine. Elle est constituée d'un ensemble de cellules renfermant les grains d'amidon réunis entre eux par une sorte de ciment naturel, le gluten. L'albumen se compose en moyenne de 76% d'amidon, de 14% de protéines et de 2 % de lipides. Globalement, et compte tenu de l'importance pondérale relative des différents tissus, 70 à 80% des protéines se trouvent dans l'albumen (**ZAHID, 2010**).

## II. NOTION DE QUALITE DU BLE TENDRE

Le terme « qualité du blé » est un complexe de nombreux facteurs et ne peut être défini en termes d'un attribut unique. Toutefois, le volume du pain est le critère du produit fini le plus utilisé dans la détermination de la qualité boulangère (**BOURDET, 1976 ; DOBRASZCZYK et SCHOFIELD, 2002 ; XIAO et al., 2006 ; BOCKSTAELE et al., 2008 ; DOBRASZCZYK et SALMANOWICZ, 2008**).

L'aspect de la qualité qui nous intéresse dans ce travail est la qualité technologique du blé tendre. Celle-ci englobe deux composantes : la valeur meunière et la valeur boulangère.

### II.1 Valeur meunière

---

Elle correspond à l'aptitude d'un blé à donner, dans des conditions de mouture préétablies, une plus ou moins grande quantité de farine possédant des caractéristiques bien définies. La facilité de séparation entre enveloppes et amandes, l'indice de dureté du grain et sa résistance à l'écrasement ..., déterminent le rendement en farine ainsi que sa qualité (granulométrie, degré d'endommagement de l'amidon).

Selon **CALVEL**, (1980) la valeur meunière d'un lot de blé peut être définie comme étant l'ensemble des qualités qu'il présente lors de sa mouture ; celles-ci sont directement liées au rendement en farine et à la faculté de séparation de l'amande farineuse des enveloppes qui la recouvrent.

## II.2 Valeur boulangère

---

**CALVEL**, (1973) a défini la valeur boulangère comme étant « l'aptitude d'un blé ou d'une farine à donner du beau et du bon pain dans les conditions de travail et de rendement en harmonie avec une fabrication normale ».

Pour **GODON** (1995) la valeur boulangère d'un blé consiste en son aptitude à fournir, à partir de sa farine, un pain bien développé, d'un bel aspect, d'une odeur et d'une saveur agréables et cela dans des conditions de travail et de rendement adéquates.

La qualité boulangère est régie par deux groupes de facteurs :

### a) Les qualités physiques de la pâte

Une pâte boulangère de bonne qualité doit posséder une certaine résistance au travail mécanique et pouvoir retenir correctement un maximum de gaz lors de la fermentation et la cuisson, donc posséder des propriétés rhéologiques convenables (ténacité, extensibilité, élasticité, force, ...).

Les propriétés rhéologiques d'une pâte de farine de blé tendre sont dépendantes de la quantité et de la qualité des protéines présentes (**WANG** et *al.*, 2007).

### b) Les qualités fermentatives de la pâte

Celles-ci sont sous la dépendance de la richesse en sucres fermentescibles et de l'équilibre enzymatique de la farine (**GAUTIER**, 1983).

Concernant les enzymes, on distingue les amylases qui transforment l'amidon en sucres fermentescibles. Grâce à cela, la pâte monte plus rapidement, le volume du pain est influencé positivement et la croûte se colore mieux. La maltase scinde le maltose en glucose. Les pentosanases décomposent les pentosanes et contribuent ainsi à l'obtention d'une pâte nettement plus souple, aboutissant à un plus grand développement du painet davantage de souplesse. Enfin, les protéases peuvent dégrader les protéines en chaînes d'acides aminés.

Concernant les sucres, deux catégories sont disponibles : les sucres directement fermentescibles contenus dans la farine ou apportés par la formulation et les sucres issus de l'hydrolyse de l'amidon (amylolyse) : le glucose et fructose sont fermentés très rapidement, le saccharose est hydrolysé en glucose et fructose grâce à l'invertase de la levure, le maltose issu de l'amylolyse de l'amidon par les  $\alpha$ - et  $\beta$ -amylases de la farine (ou apportées par la formulation) est hydrolysé par la maltase de la levure, en glucose (**LE BLANC**, 2008).

## III TESTS D'APPRECIATION DE LA QUALITE BOULANGERE

La qualité boulangère reste l'élément clé dans l'appréciation de l'aptitude technologique d'un blé tendre. De ce fait plusieurs tests (directs et indirects) peuvent être mis en œuvre pour une meilleure approche de cette qualité.

### III.1 Tests directs (essai de panification)

---

L'essai de panification permet d'apporter une appréciation sur l'aptitude d'une farine à donner un pain de bonne qualité (FEILLET, 2000). Il permet aussi de porter un jugement direct, à la fois, sur la qualité de la pâte au cours des différentes étapes (machinabilité, tolérance au pétrissage, activité fermentative, comportement en cours de cuisson, etc.) et sur la qualité du pain obtenu (volume, aspect de la mie, couleur de la croûte, etc.) (MENKOVSKA et al., 2002). Ce test, dans de bonnes conditions de réalisation, demeure le moyen le plus objectif d'appréciation de la qualité boulangère (FEILLET, 1980).

En France, par exemple, ce sont les essais de panification type **C.N.E.R.N.A.** (Centre National de Coordination des Etudes et recherche sur la Nutrition et l'Alimentation) et type **B.I.P.E.A.** (Bureau Interprofessionnel des Etudes Analytiques) qui sont les plus utilisés.

Cependant, les coûts élevés des essais de panification, leur lenteur, la qualification du personnel que requiert leur mise en œuvre ainsi que les difficultés d'interprétation de leurs résultats, ont limité leur utilisation au profit des tests indirects.

### III.2 Tests indirects

---

A l'inverse des tests de panification, les tests indirects présentent l'avantage d'être moins coûteux, plus rapides et faciles à mettre en œuvre ; cependant, ils présentent l'inconvénient de n'apprécier que certaines caractéristiques de la valeur en panification, d'où la nécessité de combiner deux ou plusieurs de ces tests pour cerner le mieux possible cette valeur (BRANLARD et ROUSSET, 1980).

Parmi ces tests, certains mesurent les propriétés rhéologiques des pâtes telles que la force, la ténacité, l'extensibilité (alvéographe et extensigraphe), ou la force et la tolérance au pétrissage (farinographe, mixographe) ; d'autres mesurent les activités enzymatiques (temps de chute de HAGBERG ou Failling number par exemple) ; enfin certains sont basés sur la quantité et la qualité protéique des farines (test de Zeleny, du SDS, quantité et qualité des protéines du gluten, teneur en protéines totales, test SIG, teneur en protéines des fractions protéiques...)

### III.3 Tests sélection

---

Certains composants biochimiques du grain capables de former des réseaux élastiques aptes à retenir le CO<sub>2</sub> issu de la fermentation sont la base du développement de tests type sélection. C'est ainsi que les protéines du blé notamment les protéines de réserve, qui sont responsables en grande partie de la qualité boulangère, ont fait l'objet de nombreuses études pour la mise au point de test de sélection.



Pour apprécier la qualité boulangère de leurs lignées, les sélectionneurs utilisaient l'indice de ZELNY, la teneur en protéines, le test Pelshenke ...; les résultats n'étant pas satisfaisants dans l'amélioration de la qualité, ils se sont orientés vers l'utilisation des mêmes tests élaborés par les industries utilisatrices tout en les miniaturisant (ex: mixographe et alvéographe à micro-pétrin, micro essai de panification, etc.

Pour **BRANLARD** et **ROUSSET** (1980), ces essais ne leur ont pas donné entièrement satisfaction dans la mesure où ces tests apprécient la qualité globale de l'échantillon qui dépend du génotype du blé et des conditions de développement de la plante (milieu, année, fertilisation, ...)

Comme l'a souligné **GAUTIER** (1983), ces tests sont sous l'influence des conditions de développement de la plante notamment la teneur en protéines ; ils sont, de ce fait, inadéquats en sélection, sauf si les sélectionneurs cultivent les mêmes lignées dans plusieurs milieux et sur plusieurs années (essais multilocaux et pluriannuels) en plus de l'introduction de témoins ; ce qui est lourd à réaliser tant en terme de coût que de temps.

Ainsi cette procédure ne peut être applicable qu'à des stades avancés de la sélection, c'est-à-dire une fois que les caractéristiques technologiques sont fixées.

Les sélectionneurs ont donc besoin de tests qui leur permettent de prédire la qualité technologique intrinsèque ou génotypique des lignées dès les premières générations et qui soient simples, rapides, se prêtant à l'analyse en série, suffisamment discriminants et aboutissants aux mêmes résultats qui auraient pu être obtenus par les essais pluriannuels et multilocaux.

Les résultats d'un test « type sélection » sont par définition, indépendants des conditions de développement de la plante (milieu, année, fumure azotée, ...).

C'est dans cette optique qu'au fil des années plusieurs tests, utilisables en sélection précoce, ont été proposés. Comme les variations des protéines en quantité et en qualité expliquent pour une grande part les variations de la qualité boulangère, il était naturel que la recherche de tels tests soit basée sur la fraction protéique, notamment les protéines du gluten (gliadines et gluténines).

C'est ainsi qu'ont été développés:

- Le test du gel protéique mis au point par **GAUTIER** (1983) mais dont les résultats se sont avérés non concluants pour les blés sélectionnés quelques années plus tard, d'où son abandon par le laboratoire qui l'a mis au point (**SADOUKI**, 2005) ;
- Le test de sédimentation en milieu S.D.S. mis au point par **AXFORD** et *al.* (1978) a connu lui aussi différentes modifications (**AXFORD** et *al.*, 1979 ; **PRESTON** et *al.*, 1982 ; **CARTER** et *al.*, 1999 ; **MORRIS** et *al.*, 2007). Ce test, peu coûteux, rapide, facile à mettre en œuvre et très reproductible est reconnu pour être très utile dans la prédiction de la force du gluten et de la qualité boulangère du blé (**CARTER** et *al.*, 1999).
- Le test de la viscoélasticité du gluten (**HOULIAROPOULOS**, 1982).
- Le test SIG (Swelling Index of Gluténin) ou indice de gonflement des gluténines, mis au point par **WANG** et **KOVACS** (2002 a, b) a montré de bonnes corrélations avec les paramètres de force de la pâte d'où son utilité dans l'appréciation de la qualité boulangère des farines, mais son indépendance vis à vis des conditions de développement de la plante reste à vérifier.

## IV. CLASSIFICATION DES PROTEINES DE BLE TENDRE

### IV.1 Classification selon la solubilité

Les protéines de blé sont classiquement séparées en quatre groupes selon leurs caractéristiques de solubilité (**OSBORNE**, 1907).

- **Les albumines et les globulines** respectivement solubles dans l'eau et dans les solutions salines diluées, appelées communément les protéines solubles ou albumines/globuline ;
- **Les gliadines**, solubles dans les alcools dilués;
- **Les gluténines**, solubles uniquement dans les acides et bases dilués ou les solvants rompant les ponts disulfures, hydrogène et hydrophobes. elles sont solubilisées de façon quasi exhaustive par les détergents ou en ajoutant des réducteurs (mercapto-2-éthanol, dithiothréitol) aux solvants précédents.

Les deux dernières fractions, dites protéines de réserve, forment en association avec d'autres constituant mineurs (lipides, traces d'amidon, minéraux, ...) le gluten.

La classification des protéines par **OSBORNE** telle que rapportée par **MELAS** et *al.*, (1993) est donnée au **tableau 2**.

Groupes	Solubilité	Poids moléculaires	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	

**Tableau 2** : Composition en protéines de la farine d'après **OSBORNE** (1907)

Source : **MELAS** et *al.* (1993).

### IV.2 Classification selon la fonctionnalité

D'un point de vue fonctionnel, les protéines de blé peuvent être classées en deux grands groupes : les protéines non gluten (principalement albumines et globulines) considérées comme des protéines métaboliques mais pouvant avoir un rôle en panification; et les protéines du gluten (gliadines et gluténines) qui ont été reconnues comme les composants majeurs responsables des variations des caractéristiques de la qualité boulangère (**PARK** et *al.*, 2006).

Le **tableau 3** rapporté par **GOESAERT** et *al.* (2005) regroupe les principales caractéristiques des fractions protéiques d'**OSBORNE**.

#### IV.2.1 Les protéines non gluten

- **Les albumines-globulines** 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). La majeure partie des protéines non gluten est solubilisée dans les solutions salines diluées ; elles sont, de ce fait présentes dans les fractions albumine et globulines de la classification d'**OSBORNE**. Ce sont principalement des protéines monomérique physiologiquement actives ou des protéines de structure (**GOESAERT** et *al.*, 2005);
- **Les puroindolines** sont des protéines basiques, riches en cystéines, extractibles dans le Triton X114. Ces protéines ont été associées à la dureté du grain (**GIROUX** et **MORRIS** 1997 ,1998 ; **MARTIN** et *al.*, 2001) ;
- **les purithionines** sont des lipoprotéines riches en soufre (**JOUDRIER** et *al.*, 1998) et enfin les **albumines à haut poids moléculaires** (**GUPTA** et *al.*, 1991);
- **Les gluténines du groupe E** représentent une nouvelle classe de protéines et qui possèdent des propriétés de solubilité identiques à celles des gluténines agrégées (**GUPTA** et **SHEPHERD**, 1987) ;
- **Les triticines** sont des protéines considérées comme des albumines (**SINGH** et **SHEPHERD**, 1985).

Fractions d'OSBORNE	Comportement de solubilité	Composition	Rôle biologique	Rôle fonctionnel
<b>Albumines</b>	Extractible dans l'eau	Protéines non gluten (principalement monomériques)	Métabolique et Structural	variable
<b>Globulines</b>	Extractible dans les sels dilués	Protéines non gluten (principalement monomériques)	Métabolique et Structural	Variable
<b>Gliadines</b>	Extractible dans les alcools aqueux	Protéines du gluten (principalement des gliadines monomériques et des polymères de gluténines à faible poids moléculaire)	Protéines de réserve du grain type prolamine	Viscosité/Plasticité de la pâte
<b>Gluténines</b>	Extractible dans l'acide acétique dilué	Protéines du gluten (principalement des polymères de gluténines à haut poids moléculaire)	Protéines de réserve du grain type prolamine	Elasticité/Force de la pâte
<b>Résidu</b>	Non extractible	Protéines du gluten (polymères à haut poids moléculaire) et protéines non gluten polymériques (triticines)	Protéines de réserve du grain type prolamine (gluten) et type globuline (triticine)	Variable

*Tableau 3: Aperçu des différents groupes de protéines de blé*

Source :GOESAERT et al. (2005)

## IV.2.2 Les protéines du gluten

### IV.2.2.1 Définition du gluten

Le gluten peut être défini comme la masse viscoélastique qui reste après lavage de la pâte sous un filet d'eau pour éliminer les grains d'amidon et les constituants hydrosolubles. Selon la rigueur de lavage, 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 WANG et al. (2006), le gluten est un complexe protéique viscoélastique responsable des propriétés physiques de la pâte.

En pratique, le terme «gluten» se réfère aux protéines, car il joue un rôle clé dans la détermination de la qualité boulangère du blé en conférant la capacité d'absorption de l'eau, la cohésion, la viscosité et l'élasticité à la pâte. (WIESER, 2007).

#### IV.2.2.2 Caractéristiques et classification des protéines du gluten

Les protéines du gluten représentent 70 à 80% des protéines totales de la farine (MELAS et al., 1993) et entre 80 et 85% (GOESAERT et al., 2005). Elles constituent la majeure et la plus importante partie des protéines de réserve de l'albumen. Les protéines du gluten se localisent dans l'endosperme du grain de blé mûr où elles forment une matrice continue autour des granules d'amidon (GOESAERT et al., 2005).

D'un point de vue fonctionnel on distingue deux groupes protéiques dans le gluten : les monomères de gliadines (mélange de polypeptides monomériques) et les polymères de gluténines (polypeptides agrégés liés par des ponts disulfure) (SAPIRSTEIN et FU, 1998; GOESAERT et al., 2005 ; LEON et al., 2010).

SHEWRY et al. (1986) ont classé les protéines du gluten en fonction de leur solubilité et de leur richesse en soufre en trois groupes de prolamines: [figure 1]

- Prolamines riches en soufre
- Prolamines pauvres en soufre
- Prolamines HPM

**NB** : L'appellation de **Prolamines** dérive de leur composition en acides aminées, caractérisée par des teneurs élevées en **proline** et **glutamine**.

SHEWRY et HALFORD (2002) ont élucidé les caractéristiques des prolamines du grain de blé qui sont résumé dans le **tableau 4**.

Composants	Mr (% total)	Polymères ou monomères	composition partielle en acides aminés (mol%)
<b>Prolamines HPM</b>			
Sous-unités de gluténines HPM	65-90 000 (6-10%)	Polymères	30-33% Gly, 10-16% Pro, 15-20% Gln, 0.5-1.5% Cys, 0.7-1.4% Lys
<b>Prolamines riches en S</b>			
γ-gliadines	30-45 000 (70-80%)	Monomères	30-40% Gln, 15-20% Pro, 2-3% Cys, < 1.0% Lys
α-gliadines		Monomères	
Sous-unités de gluténines FPM type B et C a		Polymères	
<b>Prolamines pauvres en S</b>			
ω-gliadines	30-75 000 (10-20%)	Monomères	40-50% Gln, 20-30% Pro, 8-9% Phe, 0 -0.5% Lys, 0-<0.5% Cys b
Sous-unités de gluténines FPM type D a		Polymères	

**Tableau 4** : Résumé des types et des caractéristiques des prolamines du grain de blé (Protéines du gluten)

Source : SHEWRY et HALFORD (2002)

De nos jours, les appellations «gliadines » et « gluténines » sont principalement utilisés pour décrire des protéines fonctionnellement et biochimiquement liées au lieu des fractions d'Osborne basées exclusivement sur la solubilité (GOESAERT et al., 2005).

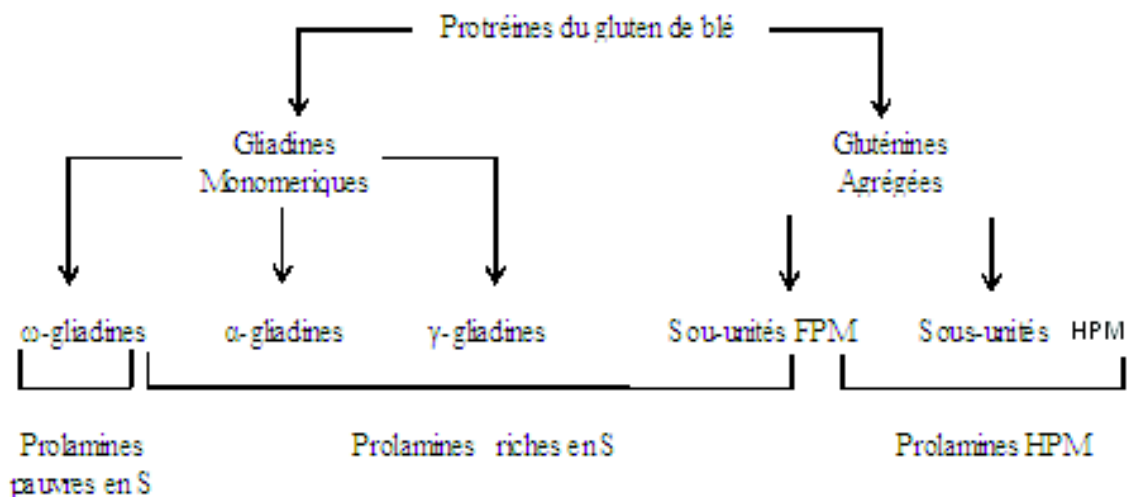


Figure 1 : Classification des protéines du gluten

(SHEWRY et al., 1986)

## V CARACTERISTIQUES DES DIFFERENTS GROUPES PROTEIQUES DU BLE TENDRE

### V.1 Les albumines/globulines

Les albumines et les globulines constituent 15 à 20% des protéines totales de la farine (OSBORNE, 1907).

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).

Selon GODON (1991) les albumines ont un poids moléculaire de 10 000 à 30 000 et les globulines de 100 000. Pour MELAS et al. (1993) le poids moléculaire des albumines-globulines est compris entre 5000 et 90 000; il est inférieur à 30 000 pour GIANIBELLI et al. (2001).

Les deux fractions protéiques sont importantes du point de vue nutritionnel, en raison de leur richesse en acides aminés essentiels (lysine, tryptophane et méthionine) (GIANIBELLI et al., 2001).

### V.2 Les gliadines

Les gliadines sont solubles dans les alcools aqueux (éthanol à 70%) et représentent approximativement 30 à 40% des protéines de la farine (OSBORNE, 1907), et environ 45% des protéines de réserve (ZAHID, 2010).

BUSHUK et ZILLMAN (1978) ; JONES et al. (1982) ont utilisé les gliadines pour identifier les variétés de blé, et cela de par leur grand polymorphisme électrophorétique.

Les gliadines ont été classées en quatre groupes en fonction de leur mobilité électrophorétique décroissante en Acide-PAGE : alpha ( $\alpha$ ), bêta ( $\beta$ ), gamma ( $\gamma$ ), et les oméga ( $\omega$ ) gliadines (**WOYCHICK** et *al.*, 1961).

Toutes les gliadines sont des monomères soit dépourvus de ponts disulfures ( $\omega$ -gliadines) ou avec des ponts disulfures intramoléculaires ( $\alpha$ -,  $\beta$ -et  $\gamma$ -gliadines) (**SHEWRY** et **TATHAM**, 1997).

Les méthodes modernes telles que l'électrophorèse bidimensionnelle ou chromatographie liquide à haute performance en phase inverse (RP-HPLC) permettent la séparation de la fraction gliadine en plus d'une centaine de composants (**WIESER**, 2007). Ce dernier se basant sur l'analyse des séquences complète ou partielle d'acides aminés, de la composition en acides aminés et des poids moléculaires, a regroupé les gliadines en quatre types différents:  $\omega$ 5;  $\omega$ 1,2 ;  $\alpha/\beta$  et  $\gamma$ -gliadines [**Tableau 5**].

A l'intérieur de chaque type, les différences structurales sont faibles ; les  $\omega$ -gliadines sont caractérisée par la plus haute teneur en glutamine, proline et phénylalanine, qui représentent ensemble près de 80% de la composition totale. Les  $\omega$ 5-gliadines ont un poids moléculaire plus élevés ( $\approx 50,000$ ) que les  $\omega$ 1, 2-gliadines ( $\approx 40,000$ ). La plupart des  $\omega$ -gliadines sont pauvres en cystéine, et donc il n'y a pas possibilité de formation de ponts disulfures (**WIESER**, 2007).

Type	Poids moléculaire ( $\times 10^5$ )	Proportions (%) <sup>a</sup>	Composition partielle en acide aminé				
			Gln	Pro	Phe	Tyr	Gly
$\omega$ 5 gliadine	49-55	3-6	56	20	9	1	1
$\omega$ 1, 2 gliadine	39-44	4-7	44	26	8	1	1
$\alpha/\beta$ gliadine	28-35	28-33	37	16	4	3	2
$\gamma$ gliadine	31-35	23-31	35	17	5	1	3

a : par rapport au protéines totales du gluten

**Tableau 5** : Quelques caractéristiques des différentes fractions de gliadines selon **WIESER** (1996).

Source : **WIESER** (2007).

### V.3 Les Gluténines

Les gluténines sont l'autre constituant majeur des protéines de réserve du gluten et de l'endosperme.

Les gluténines totales représentent entre 40 à 50% des protéines de la farine (**MELAS** et *al.*, 1993).

C'est la fraction des protéines du blé insoluble dans l'eau, les solutions salines, mais solubles dans les acides et les bases diluées, détergents, alcools + réducteurs, ... . Une

partie dite gluténines solubles peut être extraite par les alcools dilués, acides dilués, ... (ORTH et BUSHUK, 1972; DUPUIS et *al.*, 1996; FU et SAPIRSTEIN, 1996).

L'action des solvants dissociants (urée, détergents, savons ou réducteurs) sur les complexes gluténines suivie d'analyse en SDS-PAGE (PAYNE et *al.*, 1979; MIFLIN et *al.*, 1983) ont permis de démontrer que les gluténines sont constituées de polypeptides ou de sous unités de poids moléculaires allant de 10 à 130 000 avec deux familles principales : les sous unité FPM et les sous unités HPM

Les sous-unités de gluténines ont été classées en quatre groupes en fonction de leur poids moléculaire et leur mobilité en SDS-PAGE après réduction des liaisons S-S : le groupe **A** : SU-HPM (95 000-140 000), **B** (40 000-51 000), **C** (31000-36 500) et enfin le groupe **D** qui regroupe les sous unités à mobilité intermédiaire entre les groupes A et B (PAYNE et *al.*, 1980 ; 1982 ; LAWRENCE et PAYNE, 1983).

Bien que la structure des gluténines ne soit pas encore élucidée, il est néanmoins établi que les gluténines sont constituées de sous-unités liées par des ponts disulfures, et qui peuvent être libéré par la réduction de ces ponts sous l'action d'agents réducteurs tels que  $\beta$ -mercaptoethanol ou le dithiothréitol.

Quelques sous unités de gluténines HPM et FPM sont solubles dans les alcools et donnent des monomères, dimères ou des petits polymères mais elles sont surtout présentes dans la farine en tant que grands agrégats polymériques insolubles qui entourent les granules d'amidon (DUPONT et *al.*, 2005).

Les gluténines réduites se divisent donc en sous unités HPM et FPM :

**a) Les sous-unités gluténines FPM**

- Elles représentent 20 à 30% des protéines totales (GUPTA et *al.*, 1992), et 40% des protéines du gluten (JIANG et *al.*, 2008)
- Elles constituent entre 60 et 80% des gluténines totales (PAYNE et *al.*, 1984 ; BIETZ et WALL, 1973 ; JIANG et *al.*, 2008).
- Chaque variété de blé contient entre 7 et 16 sous unités FPM différentes (GUPTA et SHEPHERD, 1990)

**b) Les sous unités gluténines HPM**

- Les sous unités HPM représentent approximativement 10% des protéines de réserve et chaque variété de blé contient de trois à cinq sous unités HPM différentes (PAYNE et *al.*, 1984 ; WIESER, 2007)
- La classe des HPM présente des poids moléculaires qui s'échelonnent en SDS-PAGE entre 80 000 et 120 000 (BIETZ et WALL, 1972).
- Elles ont été classées en deux types différents, le type **X** et le type **Y**, avec des poids moléculaires respectifs de 83 000 à 88 000 et de 67 000 à 74 000 (WIESER, 2007).
- Ces deux types sont codés par deux gènes différents mais étroitement liés, l'un codant pour les sous unités de type X (les moins mobiles) et l'autre codant pour les sous unités de type y (plus mobiles) (PAYNE et *al.*, 1981)

## **VI. ROLE DES PROTEINES DANS LA QUALITE BOULANGERE**



---

Plusieurs études ont été effectuées en vue d'élucider le lien qui existe entre les protéines et la qualité boulangère des farines de blé tendre.

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.

**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 aux paramètres d'absorption d'eau du farinographe, au W alvéographique ainsi qu'au volume du pain.

Plusieurs autres études ont montré qu'en plus de leur quantité, la qualité (composition) des protéines du blé tendre est un facteur déterminant de la qualité boulangère :

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 farine sont significativement et positivement corrélées au volume du pain (**WANG** et *al.*, 2007).

## VI.1 Contribution des albumines-globulines à la qualité boulangère

---

Généralement, les albumines et les globulines ne sont pas considérées comme ayant un rôle crucial dans la qualité de la farine. Toutefois leur effet positif sur quelques caractéristiques de la qualité boulangère a été rapporté par certains auteurs.

En effet les protéines non gluten, constituées principalement d'albumines-globulines, sont considérées comme étant des protéines essentiellement métaboliques mais pouvant avoir un rôle en panification (**HOSENEY** et *al.*, 1969a, **ROUSSET**, 1976 ; **PRESTON** et *al.*, 1992 ; **WANG** et *al.*, 2007).

Inversement, **ORTH** et **BUSHUK** (1972); **ROUSSEL** et **LOISEL** (1984); **MACRITCHIE** et *al.* (1990); **GODON** (1991) ont rapporté que les albumines-globulines n'ont pas de rôle considérable dans la qualité boulangère.

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).

## VI.2 Contribution des protéines du gluten à la qualité boulangère

---

Il est admis que les gliadines et les gluténines, constituants majeurs des protéines de réserve, déterminent l'extensibilité 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 CO<sub>2</sub> 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 [figure 2].

Selon OBREHT *et al.* (2005) la qualité boulangère du blé tendre est essentiellement influencée par sa teneur en protéines et la qualité de son gluten.

Pour SUCHY *et al.* (2007) ce sont les gliadines et les gluténines qui confèrent la fonctionnalité de la pâte.

Selon BOCKSTAELE *et al.* (2008) les protéines du gluten déterminent dans une large mesure le potentiel en panification de la farine de blé. En plus de leur quantité, la qualité des protéines du gluten est aussi un facteur important dans la qualité boulangère ; elles déterminent largement les propriétés rhéologiques de la pâte. Pour une bonne qualité boulangère un équilibre approprié entre la viscosité et l'élasticité est requis.

LEON *et al.* (2010) ont rapporté que les propriétés uniques d'utilisation du blé tendre résultent des propriétés biomécaniques exceptionnelles des protéines du gluten, qui forment un réseau conférant l'élasticité et l'extensibilité à la pâte.

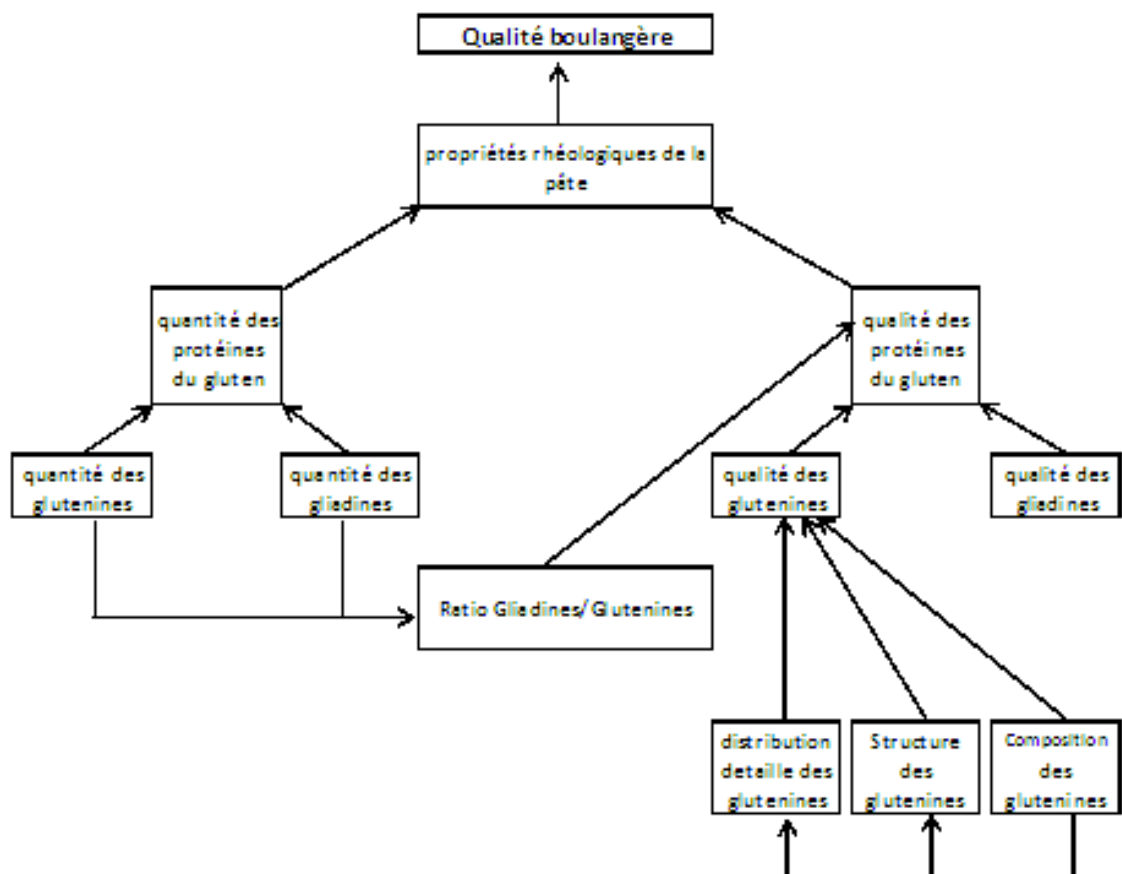


Figure 2 : Facteurs régissant la qualité boulangère et les propriétés rhéologiques de la pâte

---

adaptée par VERAVERBEKE et DELCOUR (2002) et rapportée par GOESAERT et al. (2005).

### VI.2.1 Contribution des gliadines

Les travaux publiés concernant le rôle des gliadines dans la panification sont contradictoires, mais la quasi-totalité s'accorde sur le fait que ce sont les gliadines qui déterminent l'extensibilité et la viscosité de la pâte ainsi que le volume du pain.

Plusieurs chercheurs ont trouvé que les gliadines ont un effet positif sur le volume du pain (**WEEGELS** et *al.*, 1994; **PARK** et *al.*, 2006 ; **DOWELL** et *al.*, 2008).

**PARK** et *al.* (2006) ont rapporté que les gliadines exprimées en pourcentage de la farine ou en pourcentage des protéines totales sont associées positivement et de manière significative et hautement significative respectivement au volume du pain.

A l'opposé **WANG** et *al.* (2007) ont rapporté que la teneur en gliadines par rapport aux protéines totales de la farine était négativement et significativement corrélées au volume du pain.

### VI.2.2 Contribution des gluténines

**ORTH** et **BUSUK** (1972) ont montré l'importance des gluténines en tant que facteur de qualité des protéines. Ils ont montré que le volume du pain est corrélé négativement à la fraction gluténine soluble dans l'acide acétique, et positivement à la fraction gluténine insoluble dans l'acide acétique.

En effet, la fraction gluténine des protéines de réserve du blé tendre joue un rôle important dans la détermination des propriétés viscoélastiques (élasticité et force) de la pâte car elles forment des agrégats protéiques à haut poids moléculaire (dépassant plusieurs millions) par l'association de plusieurs chaînes polypeptidiques (**KASARDA** et *al.*, 1976).

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).

Il est bien établi que les différences dans les gluténines sont le principal facteur responsable des variations de la qualité d'utilisation des farines (**CINCO-MOROYOQUI** et **MACRITCHIE**, 2008).

De nos jours, il est admis que ce sont les gluténines de hauts poids moléculaires ou les gluténines les plus agrégées qui sont les plus responsables des propriétés rhéologiques de la pâte.

**GUPTA** et *al.* (1993) ont rapporté que ce sont la taille et la distribution des protéines polymériques totales (solubles et insolubles) qui semblent importantes dans la détermination de la qualité boulangère et pas forcément leur quantité.

**SAPIRSTEIN** et **FU** (1998) ont trouvé de fortes corrélations entre les protéines solubles et insolubles dans le propanol-1 à 50% et tous les paramètres de la qualité de la pâte et elles expliquent 90 à 95% de la variation des paramètres de force de la pâte et 70% de la variation du volume du pain.

**BEAN** et *al.* (1998) ont aussi utilisé le propanol-1 à 50 % pour extraire les protéines solubles et ont trouvé que la teneur en résidu protéique insoluble par rapport à la farine est mieux corrélée au volume du pain et à la tolérance au pétrissage que la teneur en résidu protéique insolubles par rapport aux protéines totales.

**PARK** et *al.* (2006) ont trouvé que la teneur en protéines polymériques solubles en pourcentage de la farine est positivement et hautement corrélés au volume du pain. Quant aux teneurs en résidus protéiques insolubles par rapport à la farine et aux protéines totales, elles sont positivement et négativement corrélées au volume du pain respectivement.

**DOWELL** et *al.* (2008) ont trouvé que les teneurs en gluténines totales, en gluténines solubles et en gluténines insolubles sont positivement et hautement corrélées au volume du pain.

**WANG** et **KOVACS** (2002), quant à eux, ne trouvent aucune relation entre le volume du pain et la quantité de gluténines insolubles de la farine ou dans les protéines totales des farines ;ilsont rapporté que c'est le pourcentage des gluténines solubles dans le propanol-1 à 40% + DDT par rapport aux protéines totales et par rapport à la farine qui est fortement associé à quelques paramètres de force de la pâte (tolérance au pétrissage, temps de pétrissage, résistance maximale, la force W...).

**PENA** et *al.* (2005) ont trouvé que les gluténines sont les composants qui influent le plus sur le W et P/L alvéographiques, notamment les sous unités de gluténines à haut poids moléculaire et en particulier celles du type X.

### **VI.3 Interactions des protéines du gluten et qualité boulangère**

---

Un grand nombre de méthodes de fractionnement et de reconstitution classique supportés par les premières recherches sur les propriétés des gliadines et des gluténines purifiées ont été entrepris afin de relier le rapport gluténines/gliadines aux caractéristiques du gluten. Ces différentes études de reconstitution démontrèrent que les propriétés rhéologiques des farines reconstituées sont fortement influencées par la teneur relative des différentes fractions protéiques (**ZAHID**, 2010).

Si l'aspect quantitatif des protéines est relativement simple, l'aspect qualitatif reste difficile à cerner par les spécialistes. Certaines équipes de recherche l'ont associé à la teneur en protéines polymériques et à la distribution en taille moléculaire des polymères de gluténines (**GUPTA** et *al.*, 1993), d'autres à l'équilibre du ratio gluténines/gliadines ou du ratio protéines polymériques / protéines monomériques, SU-FPM / SU-HPM ou protéines Prop-1Sol / protéines Prop-1 Insol (**UTHAYAKUMARAN** et al., 1999 ; **PARK** et *al.*, 2006 ; **SUSHY** et *al.*, 2007 ; **WANG** et *al.*, 2007 ; **CINCO-MOROYOQUI** et **MACRITCHIE**, 2008 ).

**GOESAERT** et *al.* (2005) ont rapporté que deux facteurs importants déterminent la qualité des protéines du gluten dans la panification :

**a) Le rapport gliadine/gluténines**, ces deux groupes de protéines remplissent chacun une fonction différente dans le réseau viscoélastique et pour une bonne qualité boulangère, un certain équilibre entre la viscosité et l'élasticité/force de la pâte est nécessaire.

**b) La qualité de la fraction gluténine** (extractible et non extractible). Il est maintenant admis que les différences dans les propriétés des gluténines sont plus importantes que celles des gliadines dans l'explication des différences de qualité des protéines du gluten en panification.

**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

Selon **ZHANG** et *al.* (2007) les propriétés de la pâte sont fortement déterminées par la quantité de gluténines, par le ratio gliadines / gluténines ainsi que par les ratios de leurs sous groupes.

Les gluténines de la farine de blé sont les composants qui déterminent la force et l'élasticité de la pâte. Il est bien établi que les gluténines sont supposées être les principaux responsables des variations de la qualité d'utilisation (**CINCO-MOROYOQUI** et **MACRITCHIE**, 2008). Deux variables principales semblent gouverner ces variations, la première est le ratio gluténines / gliadines mais probablement la distribution en taille moléculaire des gluténines polymériques qui est un facteur aussi important.

## VII METHODES DE FRACTIONNEMENT DES PROTEINES DE BLE TENDRE

La qualité boulangère est grandement déterminée par la quantité et la qualité des protéines (**AUSSENAC** et *al.*, 2001). Idéalement, une procédure de fractionnement devrait être simple, adaptée à de petits échantillons de farine, permettre une recouvrance maximale des différents types protéiques avec un minimum de chevauchement entre les fractions. Cependant, leur complexité et la difficulté que présentent leur séparation et leur quantification font de l'évaluation de leur rôle dans la qualité de la farine ainsi que la comparaison des différents échantillons une tâche difficile (**DUPONT** et *al.*, 2005).

**OSBORNE** (1907) fut le premier à proposer une classification des protéines de la farine de blé en se basant sur les différences de solubilité dans une gamme de solvants. Toutefois, une importante fraction de protéines est exclue de sa classification, du fait qu'elle ne soit extractible par aucun des solvants utilisés. Plus tard, les recherches menées, accompagnée d'améliorations significatives dans les méthodes de fractionnement (grâce à l'amélioration des outils d'analyses biochimiques et génétiques) ont progressivement révélé que le fractionnement d'**OSBORNE** ne fournit pas une séparation nette des fractions protéiques du blé (hétérogénéité et chevauchement), or celles-ci se comportent différemment pendant la panification du point de vue fonctionnel (**GOESAERT** et *al.*, 2005).

Sur cette base plusieurs méthodes de fractionnement ont été développées.

**GUPTA** et **MACRITCHIE** (1991) ont extrait les protéines monomériques deux fois avec DMSO puis le culot a été lavé avec l'éthanol à 70% pour conserver les protéines polymériques dans le culot.

**FU** et **SAPIRSTEIN** (1996) et **SAPIRSTEIN** et **FU** (1998) ont séparé les protéines monomériques des gluténines polymériques en utilisant le propanol-1 à 50 %, la fraction de protéines polymériques insolubles est constituée essentiellement de gluténines, et la fraction de protéines solubles contient un mélange de protéines monomériques et de gluténines solubles. Ils ont ensuite précipité les gluténines solubles en augmentant la concentration du propanol-1 jusqu'à 70% pour les séparer des protéines monomériques, mais cela précipite une partie des  $\omega$ -gliadines. Les gluténines insolubles contenues dans le résidu insolubles dans le propanol-1 à 50% sont alors extraites en utilisant le propanol-1 à 50% contenant 1% de dithiothréitol à 60°C **SAPIRSTEIN** et **FU** (1998).

**VERBRUGGEN** et *al.* (1998) ont réussi à obtenir des sous unités gluténines d'une grande pureté. D'abord les gliadines ont été extraites à température ambiante avec le

propanol-1 à 50 % ; puis les gluténines présentes dans le culot ont été solubilisées à 60°C avec du propanol-1 à 50 % contenant 1 % de Dithiothreitol (DTT). A partir des extraits de gluténines ainsi obtenus, les sous unités de gluténines HPM ont été sélectivement précipitées par l'augmentation de la concentration du propanol-1 jusqu'à 60 %. Après centrifugation la concentration du Propanol-1 du surnageant obtenu est augmentée à 85% pour précipiter les sous unités de gluténines FPM .

Pour éliminer la contamination des gluténines par les  $\omega$ -gliadines, **FU** et **KOVACS** (1999) ont utilisé différentes concentrations de NaI, de Propanol-1 puis différentes combinaisons de NaI+Propanol-1. Ils ont montré que la solution d'extraction composée de 0.3 M NaI et 7.5% propanol-1 offrait la meilleure séparation entre les protéines monomériques et les protéines polymériques. Ils sont donc arrivés à une séparation complète et sans contamination de ces deux classes protéiques majeures de la farine et cela en une seule étape d'extraction.

Plus tard, **WANG** et **KOVACS** (2002 a) ont utilisé la méthode de **FU** et **KOVACS** (1999) pour extraire les protéines monomériques, ils ont ensuite extrait les gluténines solubles avec le propanol-1 à 40% ; et enfin les gluténines insolubles avec le propanol-1 à 40% à 60°C contenant 0.2% de DTT.

**SUCHY** et *al.* (2003) ont aussi travaillé avec la méthode de **FU** et **KOVACS** (1999) en subdivisant le résidu de gluténines sur la base de la solubilité dans le propanol-1 et propanol-1+DTT ; mais ils n'ont pas séparé ou quantifié les fractions albumines globuline ni la fraction gluténines totales.

**WANG** et *al.* (2007) ont associé trois méthodes de fractionnement des protéines ; ils ont utilisé le 0.3M NaI + propanol-1 à 50% 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).

**LI** et *al.* (2008) adaptent la méthode de **SUCHY** et *al.* (2003) pour la séparation des protéines monomériques, gluténines solubles et insolubles et la méthode de **DUPONT** et *al.* , (2005) pour le fractionnement des gluténines gliadines et albumines/globulines

Dans cette optique nous testons des méthodes récentes de fractionnement des protéines en des fractions relativement homogènes afin de déterminer les relations possibles entre les différentes fractions séparées et les caractéristiques de qualité technologique appréciées par l'alvéographe de CHOPIN.

# DEUXIEME PARTIE MATERIEL ET METHODES

## I. MATERIEL VEGETAL

L'étude a été portée sur 45 échantillons de blé tendre représentant 41 géotypes au total. Ces blés de la récolte 2008 proviennent de deux stations de l'I.T.G.C. à savoir Oued Smar (essai national deuxième année) et El-Khroub (essai répété de rendement deuxième année). Les pedigrees sont donnés dans les **tableaux 6 et 7**.

## II. METHODES ANALYTIQUES

### II.1 Mouture des blés

---

Les blés nettoyés manuellement et conditionnés à 16.5% d'humidité dans des bocaux hermétiquement fermés pendant 24 à 48 h, ont été moulus dans un moulin type CHOPIN DUBOIS au laboratoire de Technologie des Céréales de l'I.T.G.C. d'EL-HARRACH.

### II.2 Teneur en eau

---

Les teneurs en eau des grains et des farines ont été déterminées selon la norme algérienne NA 1132-1990 (ISO 712).

**Contribution à une meilleure connaissance des relations entre la composition protéique des farines et leurs caractéristiques alvéographiques**

N°	Génotype	Pédigrée	Année de récolte
1	HIDHAB	HIDHAB (Témoin)	2008
2	AINABID	AINABID (Témoin)	2008
3	ARZ	ARZ (Témoin)	2008
4	MAHON DEMIAS	MAHON DEMIAS (Témoin)	2008
5	HAMMAM-4	HAMMAM-4 [ICW92-0477-1ap-1ap-4ap-1ap-Oap]	2008
6	ATTILA*	ATTILA*STAR [CGSS96B00132F-099B-026Y-099M-5Y-OB]	2008
7	PRL 2*	PRL 2*PASTOR [CGSS97Y00034M-099TOPB-027Y-099M-099Y-099M-...]	2008
8	ATTILA2*	ATTILA2*PASTOR [CGSS97Y00042M-099TOPB-038Y-099M-099Y-099B-...]	2008
9	H97813	H97813	2008
10	VIV90/91	VIV90/91.28//2*PASTOR [CMSS96Y03237M-050M-14Y-OWM-010SY-010M-1SY-...]	2008
11	SERILB*2/3	SERILB*2/3/KAUZ*2/BOW/KAUZ [CGSS97Y0003DF-099TOPB-059Y-099M-099Y-099M-...]	2008
12	KAUZ'S/SHUHA-15	KAUZ'S /SHUHA-15 [ICW96-0071-030AP-030AP-OAPS-2AP-OAP]	2008
13	Bohoth-4	Bohoth-4/NS732/Her [ICX97-0323-6ap-Oaps-Oap-2ap-Oap]	2008
14	BACANORA	BACANORA 86/TAST/TORIA [ICW96-0174-030AP-030AP-OAPS-SAP-OAP]	2008
15	SERIS2'	SERIS2/SHUHA'S' [ICW89-0078-7AP-OAP-1AP-OTS-...]	2008
16	Cham-6	Cham-6/Shuha-14 [ICW95-0037-03ap-Oaps-030ap-Oaps-5ap-Oaps-Oap]	2008
17	PRL 2*	PRL 2*PASTOR [CGSS97Y00034M-099TOPB-027Y-099M-099Y-099M-...]	2008
18	Cham-6	Cham-6/Shuha-14 [ICW96-0037-03ap-Oaps-030ap-Oaps-4ap-Oaps-Oap]	2008
19	ATTILA	ATTILA [CM85836-50Y-OM-OY-3M-OY-...]	2008
20	PRL 2*	PRL 2*PASTOR [CGSS97Y00034M-099TOPB-027Y-099M-099Y-099M-16Y]	2008
21	HUMBARA-21	HUMBARA-21 [ICW94-0392-3ap-5ap-030ap-Oaps-5ap-Oaps-050ap-Oap]	2008
22	KATILA	KATILA [Cms93y0665-5ap-2ap-6ap-0aps-0ap]	2008
23	SHUHA-7	SHUHA-7/SERIS2/SHUHA »S » [ICW97-0137-7AP-OAPS-21AP-OAPS-OAP]	2008
24	KAUZ//PRL	KAUZ//PRL/VEE#6/3/BAV92 [CMSS95Y02677S-OWOY-0200M-050SY-030M-7SY-OY-...]	2008
25	KAUZ'S'/PREW	KAUZ'S'/PREW [ICW95-0056-3ap-030ap-030ap-Oaps-3ap-Oaps-Oap]	2008

**Tableau 6 : Génotypes de la station d'El-Khroub [essai répété de rendement 2<sup>ème</sup> année].**

**Tableau 7 : Génotypes de la station de Oued Smar [essai national 2<sup>ème</sup> année]**



N°	Génotype	Pédigrée	Année de récolte
1	RABIE/2*	RABIE/2*MO88 CM 5592YO 1634T 18Y-010M-010Y-010Y-2M-OY-OHTY	2008
2	AMEL/2*	AMEL/2*CUPE CM-Y-010M-4KBY-44K .by-OM-OKBY	2008
3	ATRIS-1	ATRIS-1ICW92-01718-1AP-2AP-1AP-3AP-OAP	2008
4	BL1133	BL1133/3/CMH79A.955*2/CN079//CMH79A955/BOWV/4/ PFAU V/3/BCN.12944-1S-2S-1S-21Z-01Z	2008
5	DAJA-5	DAJA-5 ICW92-0281-1AP-01-2AP-01-2AP-1 AP-OAP	2008
6	ACSAD529	ACSAD529/4/C182.24/C168.3//3/CNO*2/7C//CC/ TOBACS.W8024-141Z-IIZ-31Z-01W	2008
7	ASFOOR-3	ASFOOR-31CW 92-0214-OAP-1 AP-2 AP-1AP-1 AP-OAP	2008
8	HUD-2	HUD-2 ICM92-O609-1 AP-1 AP-1 AP-OAP	2008
9	HIDHAB	HIDHAB (Témoin)	2008
10	K134 60	K134 60/4/TOB/BMAN//BB/3/CAL/5/BUC CM 103564-5M- O3OM-O2OY-O1OM-1YO1OY-OM-OAP	2008
11	PRL/2*	PRL/2*PASTOR	2008
12	ATTILA/3*	ATTILA/3*BCN//BAV92/3/KAUZ*2/	2008
13	CROC-1	CROC-1/AE.SQUARROSA 205//KAUZ	2008
14	CHEN	CHEN/AEGILOPS SQUARROSA TAUS //BCN/3/	2008
15	CROC-1	CROC-1/AE.SQU ARROSA 224//OPATA 3/PASTOR	2008
16	HAMMAM-4	HAMMAM-4	2008
17	KAUZ/PASTOR	KAUZ/PASTOR	2008
18	PARA2	PARA2//JUP/PJY/3VEE/JUN/4/2*KAUZ	2008
19	AINABID	AINABID (Témoin)	2008
20	PASTOR	PASTOR	2008

### II.3 Rhéologie : Essai à l'alvéographe CHOPIN

L'essai à l'alvéographe est utilisé pour évaluer la valeur d'utilisation et la qualité boulangère des farines.

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).

Il consiste à mesurer les capacités de résistance et d'extensibilité d'une pâte formée avec de la farine et de l'eau salée (25 g/l), en conservant pour tous les essais un rapport eau/farine (hydratation) constant.

Le principe de l'alvéographe est basé sur la déformation tridimensionnelle d'un disque de pâte (produit dans des conditions prédéfinies par un protocole standard) par insufflation d'air formant ainsi une bulle et enregistrement de la pression jusqu'à l'éclatement. Cette déformation de la pâte est physiquement assimilée à celle de la fermentation (formation d'alvéoles sous l'influence de l'expansion du dioxyde de carbone) (**DOLIGÉ**, 1994).

Le graphique est une courbe moyenne de cinq tracés distincts. Il rend compte des paramètres suivants (**figure 3**) :

- **P** (mm) ou **ténacité** de la pâte : c'est la hauteur maximale du graphique entre la base et le sommet du pic. C'est la Pression maximale nécessaire à la déformation de la pâte.

- **L** (mm): longueur de la courbe. Il correspond au gonflement maximum de la bulle juste avant qu'elle n'éclate, il est aussi appelé **extensibilité** de la pâte.
- **G** (cm<sup>3</sup>): correspond à la même grandeur que le L. Il s'interprète de la même façon et son usage est plus répandu que le L. On l'appelle **indice de gonflement** ou plus simplement **gonflement**. Il peut être obtenu par la formule suivante  $G = 2,226 \times L^{1/2}$ . Il renseigne sur l'extensibilité de la pâte et permet d'apprécier l'aptitude du réseau du gluten à retenir le gaz carbonique (KITISSOU, 1995)
- **P/L** : C'est le **rapport de configuration** du graphique. Il s'obtient en divisant la valeur du P par la valeur du L.
- **W** ( 10<sup>-4</sup> joules): dérive du mot anglais « work », correspond à l'énergie nécessaire au gonflement de la bulle jusqu'au moment de sa rupture, c'est la force de la pâte. C'est le critère le plus utilisé car il synthétise tous les autres. On l'appelle **travail de déformation ou force boulangère**. Il se calcule en multipliant la surface incluse dans le graphique (en cm<sup>2</sup>) par le coefficient 6,25. Le classement des catégories de blé se fait selon leur W (DOLIGÉ, 1994). Cependant CALVEL (1980) a noté que si ce paramètre a de l'importance, sa signification reste limitée si l'on ne tient pas compte des autres caractéristiques alvéographiques.
- **I<sub>e</sub>** (**indice d'élasticité**): se calcule par la formule:  $P_{200} / P \times 100$  et donne ainsi une idée du rayon de courbure ou creusement de la courbe. Le P<sub>200</sub> se définit comme étant la pression à G = 14,0 ou L = 40mm, P étant la pression maximale.

De bonnes caractéristiques alvéographiques sont des critères nécessaires mais non suffisants pour assurer de bons résultats en panification (MAUZE et al., 1972). De plus l'hydratation fixe utilisée ne convient pas pour les blés forts, d'où la nécessité de s'orienter vers la réalisation des alvéogramme à consistance constante pour s'approcher de l'hydratation réelle en boulangerie.

Pour notre étude les courbes et les paramètres alvéographiques sont calculées par l'alvéolink qui est un appareil enregistreur-calculateur automatique qui permet l'acquisition, la visualisation et l'impression des données. Les cinq courbes sont visualisées simultanément et la courbe moyenne est automatiquement tracée. La moyenne des différents paramètres est calculée et affichée.

**NB** : Les paramètres P, L et G correspondent à la moyenne des P, L et G des cinq tracés alors que les autres paramètres sont calculés à partir de la courbe moyenne.

- Les valeurs caractéristiques moyennes pour la panification selon la norme I.S.O. 5530/04 sont :

**Blé type boulangerie**

W = 130 - 180

G = 20 - 23

P/L = 0,45 - 0,65

**Blé améliorant**

W = 180 - 250

P/L = 0,45 - 0,65

**Blé de force**

W > 250

**Blé impanifiable**

W < 130

**Blé panifiable courant**

W = 130-250

P/L non équilibré

- Concernant le gonflement **G**, **MAUZE** et *al* . (1972) ont rapporté les caractéristiques suivantes :

- . G de 21 à 24 : bon gonflement
  - . G > 23 : caractère améliorant

- Concernant la ténacité et le rapport de configuration **BORDES** et *al* . (2008) ont rapporté les intervalles suivants

**P**

- . de 60 à 80 : blés standard
- . de 80 à 100 : blés de très bonne qualité
- . plus de 100 : blés très forts

**P/L**

.P/L = 0,50 : soit pâte résistante et très extensible, soit moins résistante et moyennement extensible (c'est le cas le plus courant)

.Ils ont aussi rapporté que l'industrie requière des blés équilibrés, par exemple avec un P/L de compris entre 0,50 et 0,80

.P/L = 1,50 : pâte de force élevée et moyennement extensible

- Pour l'indice d'élasticité, **BERLAND** et **ROUSSEL** (2005) ont rapporté les caractéristiques suivantes :

**le**

- .moins de 35 : insuffisant
- .de 35 à 45 : moyen
- .de 45 à 55 : bon
- .plus de 55 : élevé

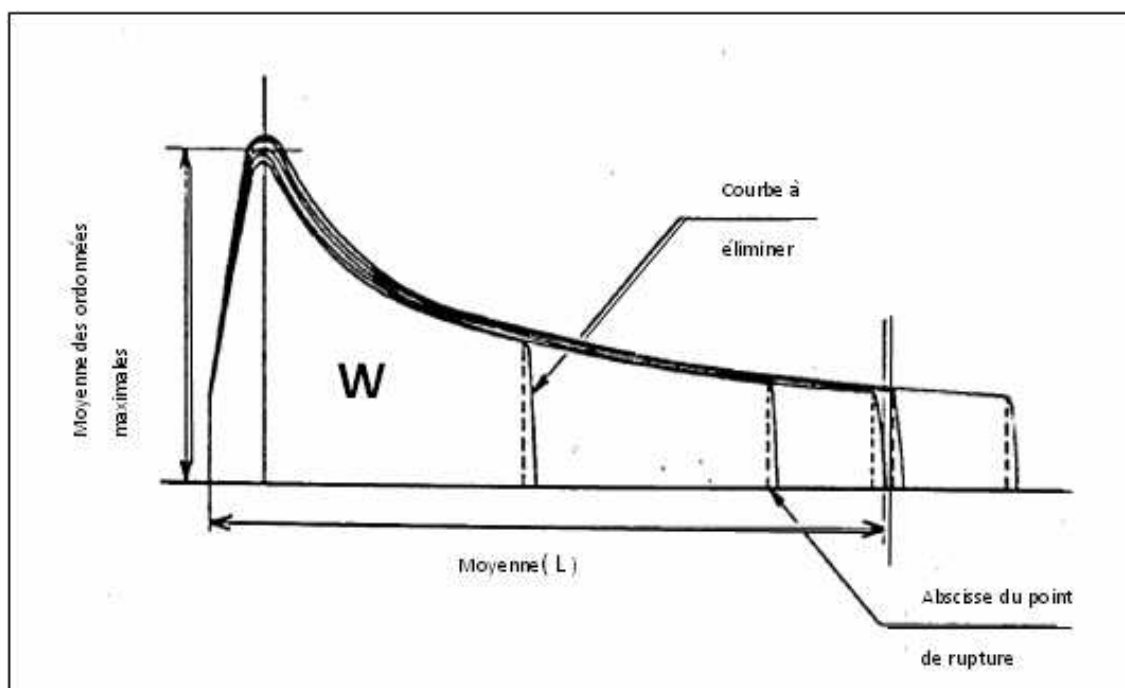


Figure 3 : Courbes obtenues au cours d'un essai à l'alvéographe

(A.F.N.O.R., 1982)

## II.4 Analyses biochimiques

### II.4.1 Teneur en protéines totales

Les teneurs en protéines totales des farines ont été déterminées par dosage de l'azote total par la méthode de Kjeldahl selon la norme algérienne (NA 1185-1990, ISO1871) avec un facteur de conversion de 5,7 pour les protéines végétales. Les teneurs sont exprimées en pourcentage de la matière sèche.

### II.4.2 Fractionnement séquentiel des protéines

Afin de mieux séparer les différentes fractions protéiques trois méthodes ont été combinées **LI et al. (2008)**, **WANG et KOVACS (2002)** et **DUPONT et al. (2005)** [figure 4].

Les protéines monomériques sont extraites suivant le protocole de **LI et al. (2008)**.

1 g de farine est additionné de 10 ml d'une solution de propanol-1 à 7,5 % + 0,3M NaI, le mélange est agité au vortex durant 30 min puis centrifugé à 10000xG pendant 10 min à 4 °C, l'opération est répétée deux fois encore et les trois surnageants S1, S2 et S3 représentant les protéines monomériques sont récupérés et mélangés. Une partie (15ml) du mélange de surnageants est dosée directement par la méthode Kjeldahl afin de quantifier les protéines monomériques, une autre partie (10 ml) est utilisée pour précipiter et doser les gliadines. Le culot C3 résultant contient les protéines polymériques.

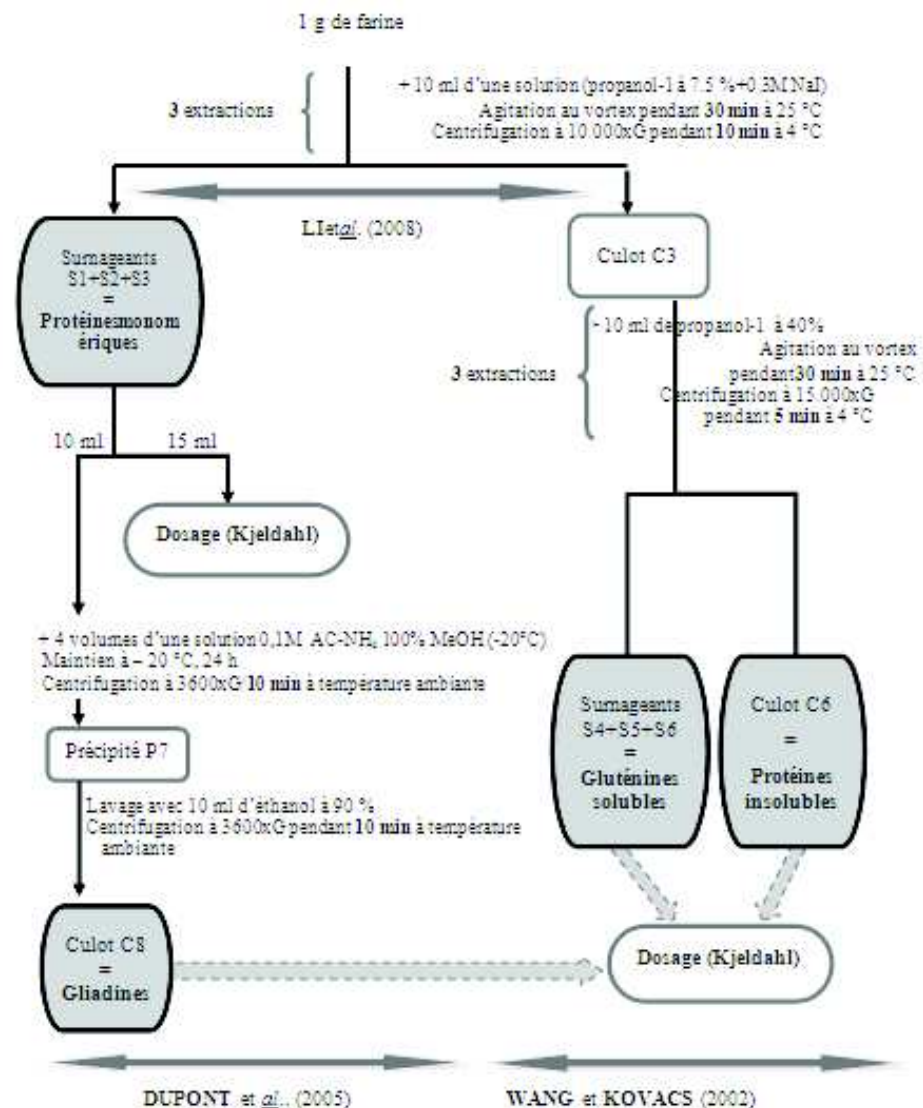
Les gluténines solubles sont extraites suivant le protocole de **WANG et KOVACS (2002)**. Le culot C3 est additionné de 10 ml d'une solution de propanol-1 à 40 %, le mélange est agité au vortex durant 30 min puis centrifugé à 15000xG pendant 5 min à 4 °C, l'opération est répétée deux fois encore et les trois surnageants S4, S5 et S6 contenant les gluténines

solubles sont mélangés puis dosées par la méthode de Kjeldahl. Le culot C6 résultant contient les protéines insolubles dont la teneur est déterminée par la méthode de Kjeldahl.

Les gliadines ont été précipitées à partir des protéines monomériques suivant le protocole de **DUPONT** et *al.* (2005). Dans des godets en verre, 10 ml du mélange de surnageants (S1+S2+S3) sont additionnés de quatre volumes (40 ml) d'une solution 0,1M d'acétate d'ammonium dans le méthanol à 100% à (- 20 °C), puis maintenus à - 20 °C pendant 24 heures, et enfin centrifugés à 3600xG pendant 10 min à température ambiante ce qui donne un précipité P7 qui contient les gliadines (les albumines-globulines restent solubles dans la solution 0,1M AC-NH<sub>4</sub>-100% méthanol).

Après avoir testé la solubilité de l'acétate d'ammonium dans l'éthanol à une concentration supérieure à 90% et sachant d'après **WIESER** (2000) et **ROBERTSON** et *al.* (2007) que l'éthanol à des concentrations supérieures ou égales à 90% précipite la totalité des protéines, (donc ne sont pas solubles dans ce solvant à cette concentration), nous avons utilisé l'éthanol à 90 % pour laver les résidus gliadines issus de la précipitation avec l'acétate d'ammonium afin d'éviter tout risque d'apport d'azote par le solvant sans risque de perte de protéines. Ainsi, le précipité P7 obtenu est lavé avec 10 ml d'éthanol à 90 % puis centrifugé à 3600xG pendant 10 min à température ambiante ce qui donne le culot C8 utilisé pour le dosage de l'azote par la méthode Kjeldahl pour déterminer la teneur en gliadines.

Les teneurs en albumines et globulines sont obtenues par différence entre les teneurs en protéines monomériques et les gliadines.



**Figure 4 :** Procédé de fractionnement séquentiel des protéines par combinaison de des méthodes de **WANG et KOVACS (2002)**, **LI et al. (2008)** et **DUPONT et al. (2005)** avec quelques modifications.

### III ANALYSE STATISTIQUE

L'étude statistique a porté sur la détermination des coefficients de corrélations linéaires de **PEARSON « r »**.

---

# TROISIEME PARTIE RESULTATS ET DISCUSSION

## I. HUMIDITE

### I.1 Humidité des grains

---

Ce paramètre est très important car il permet de déterminer la quantité d'eau à ajouter aux grains de blé afin de ramener leur humidité à 16,5 % et cela afin que les enveloppes se détachent facilement de l'amande conduisant à de bons taux d'extraction.

Les teneurs en eau des grains des blés étudiés varient entre 10,46 et 12,64 % pour les génotypes de la station d'El-Khroub et entre 11,61 à 14,43 % pour ceux de la station de Oued-Smar. Les humidités de la seconde catégorie sont relativement élevées ; ces différences marquées peuvent être dues aux conditions de récolte, de stockage (humidité relative et température) ou au milieu de culture.

### I.2 Humidité des farines

---

La détermination de la teneur en eau d'une farine est primordiale pour la mise en œuvre des différents tests technologiques (essai à l'alvéographe, de panification, ...) et pour la précision des résultats analytiques qui doivent être rapportés à la matière sèche afin de pouvoir comparer des échantillons présentant des humidités différentes.

L'humidité des farines des génotypes étudiés, mesurée juste après la mouture varie entre 13,80 % et 15,50 % avec une moyenne de  $14,94 \pm 0,38$  % (Humidité A).

Après quelques mois de la mouture, l'humidité de quelques échantillons étudiés a baissé. La moyenne des humidités est passée à  $14,05 \pm 1,03$  (Humidité B). Ce sont ces dernières humidités qui ont été prises en compte pour rapporter les résultats des analyses biochimiques à la matière sèche.

Les résultats des humidités des grains et des farines sont rassemblés dans le **tableau 8**

## Contribution à une meilleure connaissance des relations entre la composition protéique des farines et leurs caractéristiques alvéographiques

N°	Station	Génotypes	Humidité des grains en % (*)	Humidité (A) des farines en % (*)	Humidité (B) des farines en % (*)	
1	El Khroub	HIDHAB	11,29	15,35	12,92	
2		AHNABD	11,86	15,30	11,71	
3		ABZ	12,64	13,80	12,83	
4		MAHON DEMIAS	11,01	14,05	13,67	
5		HAMMAM-4	11,14	15,10	11,71	
6		ATTILA*	11,37	14,65	13,74	
7		PRL/2*	11,22	14,05	14,89	
8		ATTILA0*	11,09	15,13	14,02	
9		H92813	11,50	14,85	14,79	
10		VIV9091	11,42	15,00	12,11	
11		SERI 1B23	12,17	14,90	14,47	
12		KAUZ'S/SUHA-15	10,87	15,00	14,58	
13		Boheth-4	10,68	14,40	14,14	
14		BACANORA	10,66	15,05	14,58	
15		SERISEZ	10,95	14,30	13,82	
16		Cham-6	10,73	15,25	14,68	
17		PRL/2*	10,84	14,45	14,11	
18		Cham-6	11,09	14,75	14,16	
19		ATTILA	11,33	14,80	14,52	
20		PRL/2*	11,02	15,15	14,73	
21		HUMERAZ21	10,76	15,30	14,92	
22		KATLA	10,46	14,75	13,77	
23		SUHA-7	11,10	14,60	11,92	
24		KAUZ/PRL	10,80	14,80	11,77	
25		KAUZ'S/PREW	11,25	14,85	11,73	
26		Oned-Sheer	RABIE2*	13,54	14,80	15,00
27		AMEL2*	14,43	15,30	14,73	
28		ATRS-1	13,17	15,50	14,88	
29		BL1133	12,76	15,20	14,30	
30		DAJA-5	13,59	15,10	14,15	
31		ACSADSS9	14,10	15,25	14,48	
32		ASFOOR-3	12,73	15,50	14,77	
33		HUD-2	12,60	15,50	15,33	
34		HIDHAB	12,81	15,10	14,77	
35		K134 60	12,93	15,00	14,43	
36		PRL/2*	12,70	15,05	14,65	
37		ATTILA0*	12,63	15,35	14,74	
38		CROC-1	11,75	15,20	14,74	
39		CHEN	12,22	15,00	14,68	
40		CROC-1	12,42	14,60	14,22	
41		HAMMAM-4	12,62	15,15	14,71	
42		KAUZ/PASTOR	13,83	15,16	14,80	
43		K134 60	12,93	15,00	14,43	
36		PRL/2*	12,70	15,05	14,65	
37		ATTILA0*	12,63	15,35	14,74	
38		CROC-1	11,75	15,20	14,74	
39		CHEN	12,22	15,00	14,68	
40		CROC-1	12,42	14,60	14,22	
41		HAMMAM-4	12,62	15,15	14,71	
42		KAUZ/PASTOR	13,83	15,16	14,80	
43		PARAZ	13,77	15,00	14,50	
44		AHNABD	11,89	14,95	14,48	
45		PASTOR	11,61	15,00	14,63	

Tableau 8 : Humidité des grains et des farines de blé en pourcentage.

(\*) Moyenne des deux essais

## II TESTS TECHNOLOGIQUES

### II.1 Taux d'extraction

La farine provient essentiellement de l'albumen qui représente 70% du poids du grain, ainsi une farine qui a un taux d'extraction de 70% est dite d'albumen car les couches externes du grain ont été éliminées.

Le taux d'extraction des farines est étroitement lié au réglage du moulin et aux caractéristiques du blé.



Pour la réalisation des tests technologiques, un taux d'extraction compris entre 60 à 70 % est préconisé (**BOURDET**, 1976).

Les résultats rapportés dans le **tableau 9** montrent que les blés étudiés ont un taux d'extraction compris entre 38 et 71 %. La majorité (26 sur 43) ont un taux d'extraction compris entre 60 et 70%, la lignée **K134 60** cultivée au niveau de la station de Oued-Smar a donné le taux le plus élevé (71%), 11 ont donné des taux compris entre 50 et 60%, enfin les derniers ont donné des taux allant de 38 à 48%.

Il ressort donc que les taux d'extraction inférieurs à 60% sont ceux des échantillons provenant de la station d'El-Khroub.

Les faibles taux d'extraction peuvent être expliqués par le génotype ou les conditions de culture.

**Tableau 9: Classement hiérarchique des génotypes étudiés en fonction du taux d'extraction**

**Contribution à une meilleure connaissance des relations entre la composition protéique des farines et leurs caractéristiques alvéographiques**

N°	Géotypes	Farine (g)	Sons (g)	Taux d'extraction en (%)
1	K134 60	978	384	71,28
2	ASFOOR-3	1306	644	68,63
3	PRL/2*(Oued-smar)	1305	677	67,20
4	Bohoth-4	1352	781	66,96
5	RABIE/2*	1585	825	66,68
6	KATILA	1292	745	65,99
7	ACSAD529	1928	995	65,87
8	ATTILA/3*	1318	739	65,77
9	HĪDHAB (Oued-smar)	1530	855	65,55
10	AMEL/2*	1991	1073	65,51
11	KAUZ//PRL	1331	864	64,49
12	CHEN	1330	770	64,47
13	ATRIS-1	1492	870	63,73
14	CROC-1 (V13)	1191	755	63,52
15	AINABID (Oued-smar)	992	629	63,18
16	KAUZ/PASTOR	1337	793	62,98
17	DAJA-5	1517	951	62,33
18	PASTOR	1456	986	62,04
19	HAMMAM-4 (Oued-smar)	1215	824	61,52
20	SERI82'	1215	867	61,36
21	BL1133	1030	669	61,02
22	HUD-2	1831	1293	60,75
23	KAUZ'S'/PREW	1241	896	60,65
24	MAHON DEMIAS	1232	904	60,24
25	PARA2	1280	868	60,01
26	CROC-1(V15)	1135	772	59,99
27	PRL /2*(Khroub,V20)	1176	972	57,87
28	SHUHA-7	1232	978	57,41
29	Cham-6 (V16)	1151	956	56,76
30	HUMBARA-21	1102	996	55,38
31	ATTILA*	1100	1005	54,27
32	ATTILA	1136	1062	54,17
33	BACANORA	1140	1130	53,70
34	KAUZ'S'/SHUHA-15	1103	1052	52,80
35	PRL /2*(Khroub, V7)	1032	1055	51,86
36	Cham-6 (V18)	1025	1034	51,61
37	SERI.1B*2/3	1029	1006	51,50
38	H97813)	951	1127	47,86
39	HĪDHAB (Khroub)	950	1134	47,62
40	PRL /2*(Khroub, V 17)	925	1164	46,32
41	VIV90/91	922	1189	44,63
42	HAMMAM-4 (Khroub)	803	1274	40,33
43	ARZ	773	1265	38,31
44	AINABID (Khroub)	765	1314	38,10
45	ATTILA/2*	756	1351	38,00

**II.2 Essai à l'alvéographe**

Ce test permet de prédire la qualité boulangère d'une farine. Il est d'un grand intérêt pour l'industrie boulangère car il rend compte par le biais des différents paramètres mesurés, de la valeur d'utilisation d'une farine en fonction de sa force.

Un exemple d'alvéogrammes est donné en **annexe 2**.

A partir des résultats de l'essai à l'alvéographe regroupés dans le **tableau 10**, il ressort que :

- Les forces des 43 échantillons de blés (représentant 39 génotypes) soumis à cet essai sont comprises entre 170 à 490. Selon **FEILLET (2000)**, la variabilité de la force boulangère peut s'expliquer par la teneur en gliadines et en gluténines.
- Parmi les 43 échantillons de blé étudiés, **18** sont de bonne force boulangère (**W** compris entre 170 et 250) et présentant les caractéristiques suivantes :
  - 3 génotypes à savoir **ASFOOR-3**, **AMEL/2\***, **HUD-2** (cultivées au niveau de la station de Oued Smar) sont des blés améliorants
  - Les 15 autres pouvant se classer comme blés panifiables courants avec des rapports de configuration P/L déséquilibrés et des gonflements G insuffisants, à l'exception de cinq génotypes (**ACSAD529**, **RABIE/2\***, **ATRIS-1**, **AINABID** et **BL1133**) qui présentent des rapports P/L plus ou moins équilibrés (entre 0,76 et 1,03), de bons gonflements (G de 22) et de bonnes ténacités (P entre 75 et 87).
- Les **25** autres échantillons ont des **W** dépassant 260 (entre 260 et 490), ce sont donc des blés de force pouvant être pénalisants lorsqu'ils sont utilisés purs mais sont très recherchés pour l'amélioration de la force des blés faibles. Ces génotypes présentent les caractéristiques suivantes :
  - Beaucoup d'entre eux ont des ténacités élevées (**P** compris entre 100 et 255) et des gonflements faibles (**G** compris entre 12 et 19) exceptés deux génotypes à savoir **SHUHA-7** et **HAMMAM-4** (oued smar) qui présentent des ténacités respectives de 88 et 92 avec de bons gonflements (21 et 21,5 respectivement).
  - Des rapports de configuration P/L déséquilibrés et élevés à très élevés donc impanifiables en l'état, à l'exception de la variété **KATILA** (P/L = 0,95) qui peut être considérée comme un blé améliorant (**W** = 350 et **G** = 24). Ces rapports de configuration élevés sont dus aux ténacités élevées et aux extensibilités L courts de la plupart des blés étudiés. **KITISSOU (1995)** a rapporté que la valeur **P max** dépend d'une part de la consistance ou de la viscosité et d'autre part de la résistance élastique des pâtes qui elle-même est liée à la qualité et la quantité des protéines ainsi qu'à la capacité d'hydratation des différents constituants
  - Le génotype **KATILA** présente un **W** alvéographique de 350 et un **G** de 24 (P/L = 0,95 et le = 50,5), ainsi ce blé présente un caractère améliorant pour le **W** et le **G** en même temps.
- Les génotypes HUD-2, ATRIS-1, ACSAD 529, BL 1133, HİDHAB (khroub), HAMMAM-4(oued smar), K134 60et SHUHA-7possèdent de bons gonflements (G compris entre 21 et 23).
- Les indices d'élasticité des 43 échantillons (39 génotypes) étudiés sont tous moyens à bons, à l'exception de huit génotypes qui présentent des indices élevés. Ainsi 12 échantillons ont des indices moyens compris entre 34 et 45 ; 20 ont des indices

d'élasticité compris entre 45 et 55 donc considérés comme étant bons, 8 ont donné des indices supérieurs à 56 donc élevés, un génotype a donné un le inférieur à 35 et trois ont des le incalculables (extensibilité  $L < 40$ ).

· La majorité des blés de bonne force boulangère proviennent de la station de Oued-Smar, et la majorité des blés de force sont ceux cultivés au niveau de la station d'El-Khroub.

Sur la base du gonflement G, 33 échantillons représentant 30 génotypes regroupant des valeurs extrêmes et intermédiaires ont été choisies pour le fractionnement séquentiel des protéines.

**NB** : des coupures d'électricité sont survenues au cours de l'essai à l'alvéographe sur les lignées ATTILA/2\* et PRL/2\* (Khroub) ; les quantités restantes n'étant pas suffisantes pour un deuxième essai, ces deux échantillons ont été éliminés de l'étude.

**Tableau 10 : Classement hiérarchique des génotypes étudiés en fonction de la force boulangère (W)**

TROISIEME PARTIE RESULTATS ET DISCUSSION

N°	Génotypes	W (10 <sup>-4</sup> J)	P (mmH <sub>2</sub> O)	L (mm)	G (cm <sup>3</sup> )	P/L	le (%)
1	PRL /2*(Khroub,V20)	490	153	85	20,50	1,80	63,7
2	SERI.1B*2/3	460	217	51	16,00	4,26	63,0
3	KAUZ'S'/SHUHA-15	450	178	69	18,50	2,59	58,0
4	BACANORA	380	255	33	13,00	7,75	--
5	VIV90/91	350	197	44	15,00	4,43	50,9
6	KATILA	350	110	115	24,00	0,95	50,5
7	Bohoth-4	340	164	54	16,50	3,06	51,9
8	K134 60	330	104	96	22,0	1,08	56,1
9	AINABID (Khroub)	320	188	41	14,50	4,58	50,0
10	H97813	320	166	49	15,50	3,39	49,8
11	ATTILA	320	124	83	20,50	1,49	48,1
12	PRL/2* (Oued-smar)	320	109	76	19,5	1,43	62,9
13	HĪDHAB (Oued-smar)	310	114	84	20,5	1,35	52,4
14	Cham-6 (V18)	300	134	65	18,00	2,05	48,1
15	MAHON DEMIAS	290	133	55	16,50	2,44	58,0
16	Cham-6 (V16)	280	170	40	14,00	4,22	44,6
17	HUMBARA-21	280	123	77	19,50	1,59	44,0
18	HAMMAM-4 (Khroub)	270	212	28	12,00	7,52	--
19	SERI82'	270	117	63	18,00	1,85	51,8
20	CHEN	270	119	59	17,0	2,02	56,4
21	KAUZ/PASTOR	270	105	75	19,0	1,41	52,1
22	SHUHA-7	260	88	88	21,00	1,00	55,2
23	KAUZ'S'/PREW	260	114	78	20,00	1,46	43,5
24	CROC-1 (V15)	260	110	70	18,5	1,57	50,5
25	HAMMAM-4(Oued-smar)	260	92	93	21,5	1,00	49,6
26	CROC-1(V13)	250	114	61	17,5	1,89	50,5
27	HĪDHAB (Khroub)	240	101	87	21,00	1,16	41,5
28	BL1133	240	83	96	22,0	0,87	50,9
29	ATTILA/3*	240	97	74	19,0	1,32	49,6
30	ATTILA*	230	132	47	15,00	2,83	41,0
31	PRL /2*(Khroub, V7)	230	120	54	16,50	2,22	44,8
32	AINABID (Oued-smar)	230	87	84	20,5	1,03	49,5
33	KAUZ//PRL	220	104	71	19,00	1,47	41,2
34	PARA2	220	103	64	18,0	1,62	44,9
35	PASTOR	220	99	52	16,0	1,90	64,4
36	HUD-2	210	75	105	23,0	0,71	44,9
37	ARZ	200	142	35	13,00	4,08	--
38	ASFOOR-3	200	71	117	24,0	0,60	41,8
39	ATRIS-1	195	77	96	22,0	0,80	41,6
40	DAJA-5	195	97	72	19,0	1,35	36,8
41	RABIE/2*	185	77	97	22,0	0,79	38,4
42	AMEL/2*	175	73	111	23,5	0,66	35,9
43	ACSAD529	170	75	99	22,0	0,76	34,7

A partir de l'étude technologique, on peut résumer les caractéristiques des farines étudiées dans les points suivants :

- La majorité des échantillons de blé tendre étudiés (26 sur 45) ont un taux d'extraction compris entre 60 et 70%, un seul a donné un taux de 71%, 11 ont donné des taux allant de 50 à 60%, enfin 6 ont des taux compris entre 38 et 48%.

Concernant les caractéristiques alvéographiques :

- en référence à la norme I.S.O. 5530/04, les résultats obtenus montrent que la majorité des blés étudiés (25 sur 43) sont des blés de force avec des W alvéographiques élevés, des ténacités P élevées à très élevées, des rapports de configuration P/L déséquilibrés et élevés, et des gonflements G faibles ; ce sont donc des blés impanifiables en l'état à l'exception de la variété **KATILA** qui présente un caractère améliorant pour le W et le G en même temps.
- Les 18 autres sont des blés panifiables courants présentant une bonne force boulangère dont 3, à savoir **ASFOOR-3**, **AMEL/2\***, **HUD-2** (cultivées au niveau de la station de Oued Smar) sont considérés comme des blés améliorants.
- Les géotypes HUD-2, ATRIS-1, ACSAD529, BL1133, HĪDHAB (khroub), HAMMAM-4(oued smar), K134 60et SHUHA-7 possèdent de bons gonflements (G compris entre 21 et 23).
- Les indices d'élasticité des géotypes étudiés sont tous moyens à bons, à l'exception de huit géotypes qui présentent des indices élevés.
- La majorité des blés de bonne force boulangère proviennent de la station de Oued-Smar, et la majorité des blés de force sont ceux cultivés au niveau de la station d'El-Khroub.

## III ANALYSES BIOCHIMIQUES

### III.1 Teneur en protéines totales

---

Le **tableau 11** regroupe les teneurs en protéines totales des géotypes étudiés. Ces teneurs varient de 10,90 à 16,34 % avec une moyenne de 13,09% ± 2,48(grammes de protéines dans 100 g de matière sèche). Ainsi les teneurs en protéines des farines de tous les géotypes étudiés dépassent le seuil de 10-11% en dessous duquel on ne peut pas obtenir de bons résultats en panification d'après **BERLAND** et **ROUSSEL** (2005).

La quantité et la qualité des protéines sont des paramètres importants dans la détermination de la qualité boulangère du blé (**WANG** et *al.*, 2007). Cependant, 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 ; **MACHIRANG** et *al.*, 2006).

**Tableau 11 : Classement hiérarchique des géotypes étudiés en fonction des teneurs en protéines totales.**

N°	Génotypes	Teneur en protéines (g/100g MS) (*)
1	BACANORA	16,34
2	AINABID (Khroub)	15,86
3	KATILA	15,65
4	H97813	15,61
5	KAUZ'S'/SHUHA-15	15,59
6	HAMMAM-4 (Khroub)	15,09
7	SERI.1B*2/3	14,96
8	MAHON DEMIAS	14,56
9	Cham-6 (V18)	14,55
10	Bohoth-4	14,51
11	Cham-6 (V16)	14,36
12	PRL /2*(Khroub,V20)	14,36
13	KAUZ'S'/PREW	14,29
14	HUMBARA-21	14,05
15	VIV90/91	13,57
16	DAJA-5	13,52
17	ARZ	13,39
18	PRL /2*(Khroub, V7)	13,22
19	ATTILA*	13,07
20	SHUHA-7	13,00
21	ATTILA	12,98
22	PRL /2*(Khroub, V17)	12,89
23	SERI82'	12,85
24	ATRIS-1	12,70
25	PARA2	12,69
26	KAUZ//PRL	12,66
27	HAMMAM-4(Oued-smar)	12,63
28	HUD-2	12,49
29	KAUZ/PASTOR	12,08
30	CROC-1 (V13)	12,07
31	K134 60	12,01
32	AINABID (Oued-smar)	11,76
33	RABIE/2*	11,57
34	PRL/2*(Oued-smar)	11,41
35	HIDHAB (Oued-smar)	11,40
36	PASTOR	11,40
37	AMEL/2*	11,30
38	CROC-1(V15)	11,26
39	CHEN	11,23
40	ASFOOR-3	11,17
41	ATTILA/3*	10,95
42	ACSAD529	10,94
43	BL1133	10,90

(\*) : Moyenne de deux essais

### III.2 Teneurs en différentes fractions protéiques

Les teneurs en protéines des différentes fractions ainsi que leurs proportions par rapport aux protéines totales de la farine sont regroupées dans le **tableau12 [annexe 3]**.

### **III.2.1 Protéines monomériques**

Les teneurs en protéines monomériques des géotypes étudiés varient entre 44,76 et 65,12 % avec une moyenne de  $53,81 \pm 5,14$  %.

Elles sont du même ordre de grandeur que celles trouvées par **SAPIRSTEIN** et **FU** (1998) [48,3 à 51,9 %].

**MOKHTARI** et **BENZAÏM** (2008) ; **BOULOUSA** et **ZANAZ** (2010) ; **LAKER** et **KEDDAR** (2011) ont rapporté des teneurs comprises entre 43,8 et 59,1 %, 49,15 et 59,43% et entre 43,78 et 53,48 % respectivement.

### **III.2.2 Gliadines**

Les teneurs en gliadines sont comprises entre 26,17 et 43,06 avec une moyenne de  $32,09 \pm 3,99$  %. Ces valeurs sont du même ordre de grandeur que celles trouvées par **LAKER** et **KEDDAR** (2011) [28,35 à 40,64 %], elles sont proches de celles rapportées par **PARK** et *al.* (2006) [30,6 à 39,1%].

**DUPONT** et *al.* (2005) ont rapporté une moyenne de  $40,2 \pm 1,5$  % des protéines totales.

Exprimées en % de matière sèche, la teneur en gliadines des géotypes étudiés varie entre 3,25 et 5,60 %. Ces valeurs s'insèrent dans l'intervalle [2,29 à 9,59] trouvé par **RONDA** et *al.* (2007) et sont du même ordre de grandeur que celles trouvées par **PARK** et *al.* (2006) par HPLC [3,0 à 5,1 %]

### **III.2.3 Albumines-Globulines**

Les teneurs en cette fraction varient entre 14 et 30 % avec une moyenne de  $21,71 \pm 3,75$  %.

A l'exception de la variété **KAUZ/PASTOR** qui affiche la teneur de 30% de gliadines, les teneurs des 32 autres échantillons étudiées sont du même ordre de grandeur que celles trouvées par **PRESTON** et *al.* (1992) [13,4 à 24,7 %] et par **MOKHTARI** et **BENZAÏM** (2008) [12 à 25 %].

Cependant les valeurs trouvées dans la présente étude sont largement plus élevées que celles trouvées par **DUPONT** et *al.* (2005) [ $9,6 \pm 2$ ] ; **PARK** et *al.* (2006) [7,9 à 11,8 %] et par **LAKER** et **KEDDAR** (2011) [8,12 à 20,65 %].

Comme les valeurs de cette fraction sont déduites par différence entre les teneurs en protéines monomériques et celles des gliadines, il est possible qu'une précipitation non suffisamment exhaustive ou des pertes lors des différentes manipulations, ont fait que les teneurs en albumines-globulines soient surestimées. Ces résultats doivent donc être vérifiés en dosant directement les albumines-globulines en les précipitant à partir des surnageants.

### **III.2.4 Gluténines solubles**

Les teneurs en gluténines solubles représentent 8,35 à 19,62 % des protéines totales avec une moyenne de  $13,62 \pm 2,76$  %. Ces teneurs sont majoritairement du même ordre de grandeur que celles rapportées par **SAPIRSTEIN** et **FU** (1998) [10 à 20 %], **BEAN** et *al.* (1998) avec une moyenne de 12,05%, **BOUDINA** et **HARITI** (2004) [10,82 à 16,27%], **MAGHIRANG** et *al.* (2006) [11,5 à 18,4 %], **PARK** et *al.* (2006) [7,3 à 15 %], **MOKHTARI** et



---

**BENZAÏM** (2008) [9,13 à 22,87%], **BOULOUZA** et **ZANAZ** (2010) [8,23 à 20,64 %] et par **LAKER** et **KEDDAR** (2011) [10,16 à 17,27 %].

### III.2.5 Résidus protéique insoluble (ou protéines insolubles)

Les teneurs en résidus protéiques insolubles varient entre 27,51 et 37,83 % avec une moyenne de  $32,34 \pm 3,04$  %. Ces valeurs sont du même ordre de grandeur que celles rapportées par **SAPIRSTEIN** et **FU** (1998) [30,3 à 42,1 %], **BEAN** et *al.* (1998) [moyenne de 41,19 %], **MOKHTARI** et **BENZAÏM** (2008) [24,98 à 40,09 %], **BOULOUZA** et **ZANAZ** (2010) [31,48 à 41,12 %] et **LAKER** et **KEDDAR** (2011) [28,74 à 38,41 %].

### III.2.6 Protéines solubles

Les teneurs en protéines solubles (protéines monomériques + gluténines solubles) sont regroupées dans le **Tableau 13**. Elles varient entre 59,44 et 73,91 avec une moyenne de  $67,43 \pm 3,68$  %. Ces valeurs sont du même ordre de grandeur que celles rapportées par **SAPIRSTEIN** et **FU** (1998) [59,1 à 71,3 %], **PARK** et *al.* (2006) [50,4 à 62,8 %], **BOULOUZA** et **ZANAZ** (2010) [58,34 à 71,36 %] et **LAKER** et **KEDDAR** (2011) [57,59 à 68,89 %].

### III.2.7 Protéines polymériques

Les teneurs en protéines polymériques (protéines insolubles + gluténines solubles) sont données dans le **Tableau 13**. Elles varient entre 37,26 et 53,73 % avec une moyenne de  $45,96 \pm 4,64$  %.

## III.3 Ratios des fractions protéiques

---

Les différents ratios calculés sont regroupés avec les teneurs en protéines solubles et protéines polymériques dans le **tableau13**.

### III.3.1 Protéines solubles/Protéines polymériques

Les valeurs de ce ratio pour les génotypes étudiées varient de 1,19 à 1,94 avec une moyenne de  $1,49 \pm 0,22$ .

### III.3.2 Protéines solubles □ Protéines insolubles

Ce ratio varie dans un intervalle de 1,64 à 2,63 avec une moyenne de  $2,11 \pm 0,30$ . Il est du même ordre de grandeur que celui rapporté par **LAKER** et **KEDDAR** (2011) [1,57 à 2,26]. Il s'insère aussi dans l'intervalle rapporté par **SUCHY** et *al.* (2007) [1,5 à 4,9] qui considère ce ratio comme étant un bon indice de la distribution en taille moléculaire moyenne des protéines de la farine.

### III.3.3 Protéines monomériques □ Protéines insolubles

Les valeurs de ce ratio varient de 1,26 à 2,25 avec une moyenne de  $1,69 \pm 0,29$ . Elles sont du même ordre de grandeur que celles trouvées par **MOKHTARI** et **BENZAÏM** (2008) [1,08 à 2,27] et sont légèrement supérieures à celles trouvées par **LAKER** et **KEDDAR** (2011) [1,22 à 1,74 avec une moyenne de 1,43].

### III.3.4 Protéines monomériques □ Protéines polymériques

Les valeurs de ce ratio s'échelonnent de 0,83 à 1,69 avec une moyenne de  $1,19 \pm 0,23$ .

### III.3.5 Gliadines/ Protéines solubles

Ce ratio varie entre 0,41 et 0,61 avec une moyenne de  $0,48 \pm 0,05$ .

### III.3.6 Gliadines/ Protéines polymériques

Les valeurs de ce ratio sont comprises entre 0,51 et 1,02 avec une moyenne de 0,71.

### III.3.7 Gliadines □ Protéines insolubles

Ce ratio varie dans un intervalle de 0,72 à 1,44 avec une moyenne de 1,01. Ces valeurs sont voisines de celles rapportées par LAKER et KEDDAR (2011) [0,77 à 1,2 avec une moyenne de 0,99].

Fractions Genotypes	P.T.	P. Mon.		A. G.		Gli.		Glu. Sol.		P. Ins.		Σ %
		% MS	% PT	% MS	% PT	% MS	% PT	% MS	% PT	% MS	% PT	
AINABID	15,86	7,67*	48,38	3,18	20,04	4,50	28,35	2,08	13,13	5,33*	33,62	95,14
ARZ	13,39	8,08	60,33	3,23	24,62	4,84	35,71	1,75	13,04	3,89	29,05	102,42
HAMMAM-4	15,09	9,01	59,67	3,41	22,58	5,60	37,09	1,61	10,66	4,49*	29,77	100,29
ATTILA*	13,07	6,74	51,58	2,91	22,28	3,83	29,31	1,66	12,67	4,48	34,32	98,57
PRL/2*(V7)	13,22	5,92	44,76	2,26	17,09	3,66	27,67	2,59	19,62	4,51	34,11	98,49
VIV90/91	13,57	7,26	53,48	3,04	22,41	4,22	31,07	1,98*	14,60	4,82	35,49	103,57
SERLIB*2/3	14,96	7,08*	47,35	2,93	19,59	4,15	27,76	2,41*	16,14	5,56*	37,16	100,66
KAUZ'S*/SHUHA-15	15,59	7,99*	51,27	3,38	21,67	4,61	29,60	2,81*	18,03	5,13*	32,92	102,23
Bohoth-4	14,51	7,65*	52,73	3,08	21,25	4,57*	31,48	2,36*	16,28	4,35*	29,96	98,97
BACANORA	16,34	8,15*	49,88	3,69	22,61	4,46	27,27	2,79	17,05	5,52*	33,79	100,72
Chau-6 (V16)	14,36	7,83*	54,54	2,91	20,28	4,92	34,26	1,77	12,34	4,45*	30,99	97,87
Chau-6 (V18)	14,55	7,85	53,93	3,55	24,41	4,29	29,52	1,73	11,89	5,36	36,82	102,64
ATTILA	12,98	6,87	48,58	2,86	20,21	4,01	28,37	2,17	15,33	5,35	37,83	101,74
PRL/2*(V20)	14,36	6,55	45,58	2,79	19,41	3,76	26,17	1,99	13,86	5,21	36,25	95,69
HUMBARA-21	14,05	6,73	47,91	2,78	19,81	3,95	28,10	2,06	14,66	5,07	36,07	98,64
NATILA	15,65	9,28	59,30	3,72	23,75	5,56	35,55	1,53	9,80	5,18	33,07	102,17
SHUHA-7	13,00	6,79	52,24	2,89	22,23	3,90	30,01	2,09	16,06	4,60	35,39	103,69
KAUZ'S*/PREW	14,29	8,44	59,06	3,76	26,32	4,68	32,74	1,70	11,88	4,63	32,38	103,32
RABIE/2*	11,57	6,65*	57,50	2,43	20,99	4,22*	36,51	1,41*	12,17	3,24*	28,02	97,69
AMEL/2*	11,30	6,55	57,97	1,68	14,91	4,87*	43,06	1,42*	12,61	3,37	29,81	100,39
ATRIS-1	12,70	7,37*	58,06	2,35	18,50	5,02*	39,56	1,59*	12,49	3,56*	28,04	98,59
BLI133	10,90	5,79	53,16	1,91	17,52	3,88	35,64	1,47	13,49	3,58	32,82	99,47
ACSAD529	10,94	6,83	62,38	3,07	28,09	3,75	34,29	1,26	11,53	3,08	28,15	102,06
ASFOOR-3	11,17	6,04	54,12	2,31	20,66	3,74	33,46	1,96	17,56	3,07	27,51	99,19
HUD-2	12,49	7,88	63,12	3,64	29,16	4,24	33,96	1,15	9,18	3,51	28,08	100,38
HIDHAB	11,40	6,02	52,80	2,42	21,26	3,60	31,54	1,72	15,10	3,46	30,39	98,29
N13460	12,01	6,44	53,65	3,20	26,63	3,25	27,03	1,41	11,78	3,99	33,24	98,68
PRL/2*	11,41	5,66	49,62	2,21	19,38	3,45	30,25	1,52	13,34	3,98	34,92	97,88
CROC-1	12,07	5,93	49,15	2,03	16,82	3,90	32,33	2,26	18,69	3,77	31,24	99,08
HAMMAM-4	12,63	7,03	55,63	2,93	23,19	4,10	32,44	1,20	9,51	3,81	30,15	95,28
KAUZ*/PASTOR	12,08	7,87	65,12	3,62	30,00	4,24	35,12	1,01	8,35	3,74	30,93	104,40
AINABID	11,76	6,21	52,78	2,92	24,80	3,29	27,98	1,59	13,54	3,48	29,60	95,92
PASTOR	11,40	5,70	50,00	1,61	14,10	4,09	35,90	1,50	13,11	4,02	35,25	98,36

**Tableau 12 : Proportions des fractions protéiques des génotypes étudiés**

(\* ) Moyenne de trois essais, les autres sont la moyenne de deux essais.

Fractions - Ratios Genotypes		P. Sol.		P. Poly.		P.Sol./ P.Poly.	P.Sol./ P.Ins.	P.Mon./ P.Ins.	P. Mon./ P.Poly.	Gli./ P.Sol.	Gli./ P.Poly.	Gli./ P.Ins.	
		% MS	% PT	% MS	% PT								
Mkrout	AINA-BID	9,75	61,52	7,41	46,76	1,32	1,83	1,44	1,03	0,46	0,61	0,84	
	ARZ	9,82	73,36	5,64	42,09	1,74	2,53	2,08	1,43	0,49	0,85	1,23	
	HAMMAH-4	10,62	70,33	6,10	40,43	1,74	2,36	2,00	1,48	0,53	0,92	1,25	
	ATTILA <sup>a</sup>	8,40	64,25	6,14	46,99	1,37	1,87	1,50	1,10	0,46	0,62	0,85	
	PRL/2 <sup>a</sup> (V7)	8,51	64,39	7,10	53,73	1,20	1,89	1,31	0,83	0,43	0,51	0,81	
	VIV90/91	9,24	68,08	6,80	50,09	1,36	1,92	1,51	1,07	0,46	0,62	0,88	
	SERLIB <sup>a</sup> 2/3	9,50	63,49	7,97	53,31	1,19	1,71	1,27	0,89	0,44	0,52	0,75	
	KAUZ'S/SHUHA-15	10,80	69,30	7,94	50,96	1,36	2,10	1,56	1,01	0,43	0,58	0,90	
	Bohoti-4	10,01	69,01	6,71	46,24	1,49	2,30	1,76	1,14	0,46	0,68	1,05	
	BACANORA	10,93	66,93	8,31	50,84	1,32	1,98	1,48	0,98	0,41	0,54	0,81	
	Chan-6 (V16)	9,61	66,88	6,22	43,33	1,54	2,16	1,76	1,26	0,51	0,79	1,11	
	Chan-6 (V18)	9,58	65,82	7,09	48,71	1,35	1,79	1,46	1,11	0,45	0,61	0,80	
	ATTILA	9,04	63,91	7,52	53,16	1,20	1,69	1,28	0,91	0,44	0,53	0,75	
	PRL/2 <sup>a</sup> (V20)	8,54	59,44	7,20	50,11	1,19	1,64	1,26	0,91	0,44	0,52	0,72	
	HUMBARA-21	8,79	62,57	7,13	50,73	1,23	1,73	1,33	0,94	0,45	0,55	0,78	
	KATILA	10,82	69,10	6,71	42,87	1,61	2,09	1,79	1,38	0,51	0,83	1,08	
	SHUHA-7	8,88	68,31	6,69	51,45	1,33	1,93	1,48	1,02	0,44	0,58	0,85	
	KAUZ'S/PREW	10,14	70,94	6,32	44,26	1,60	2,19	1,82	1,33	0,46	0,74	1,01	
	Ined-Smar	RABIE/2 <sup>a</sup>	8,06	69,67	4,65	40,19	1,73	2,49	2,05	1,43	0,52	0,91	1,30
		AMEL/2 <sup>a</sup>	7,98	70,58	4,79	42,42	1,66	2,37	1,94	1,37	0,61	1,02	1,44
ATRIS-1		8,96	70,55	5,15	40,54	1,74	2,52	2,07	1,43	0,56	0,98	1,41	
BLI133		7,26	66,65	5,05	46,31	1,44	2,03	1,62	1,15	0,53	0,77	1,09	
ACSAD529		8,09	73,91	4,34	39,68	1,86	2,63	2,22	1,57	0,46	0,86	1,22	
ASFOOR3		8,00	71,69	5,03	45,07	1,59	2,61	1,97	1,20	0,47	0,74	1,22	
HUD-2		9,03	72,31	4,65	37,26	1,94	2,58	2,25	1,69	0,47	0,91	1,21	
HIDHAB		7,74	67,90	5,19	45,49	1,49	2,23	1,74	1,16	0,46	0,69	1,04	
IL13460		7,86	65,43	5,41	45,02	1,45	1,97	1,61	1,19	0,41	0,60	0,81	
PRL/2 <sup>a</sup>		7,18	62,97	5,50	48,26	1,30	1,80	1,42	1,03	0,48	0,63	0,87	
CROC-1 (V13)	8,19	67,84	6,03	49,93	1,36	2,17	1,57	0,98	0,48	0,65	1,03		
HAMMAH-4	8,23	65,14	5,01	39,65	1,64	2,16	1,85	1,40	0,50	0,82	1,08		
KAUZ/PASTOR	8,88	73,47	4,75	39,29	1,87	2,38	2,11	1,66	0,48	0,89	1,14		
AINA-BID	7,80	66,31	5,07	43,14	1,54	2,24	1,78	1,22	0,42	0,65	0,95		
PASTOR	7,20	63,11	5,51	48,36	1,31	1,79	1,42	1,03	0,57	0,74	1,02		

**Tableau 13 : Teneurs en protéines solubles, en protéines polymériques et valeurs des différents ratios des fractions protéiques.**

En résumé, concernant les résultats d'analyses biochimiques, les génotypes étudiés présentent des teneurs en protéines totales allant de 10,90 à 16,34 % avec une moyenne de 13,09% ± 2,48(g de protéines dans 100g de M.S.). Pour les 30 génotypes (33 échantillons) soumis au fractionnement séquentiel des protéines, ils ont présenté des teneurs en protéines monomériques variant entre 44,76 et 65,12 % avec une moyenne de 53,81 ± 5,14 %, des teneurs en gliadines comprises entre 26,17 et 43,06 avec une moyenne de 32,09 ± 3,99 %, des teneurs en albumines-globulines entre 14 et 30 % avec une moyenne de 21,71 ± 3,75 %, des teneurs en gluténines solubles allant de 8,35 à 19,62 % avec une moyenne de 13,62 ± 2,76 %, des teneurs en résidus protéiques insolubles variant entre 27,51 et 37,83 % avec une moyenne de 32,34 ± 3,04 %, des teneurs en protéines solubles entre 59,44 et 73,91 avec une moyenne de 67,43 ± 3,68 %, enfin des teneurs en protéines polymériques entre 37,26 et 53,73 % avec une moyenne de 45,96 ± 4,64 %.

## IV CORRELATIONS ENTRE LES TESTS D'APPRECIATION DE LA QUALITE EFFECTUES (Coefficient de corrélation de PEARSON « r »)

### IV.1 Corrélations entre les paramètres alvéographiques

---

Le **tableau 14** regroupe les coefficients de corrélations de PEARSON entre les paramètres alvéographiques. Il en ressort que :

**La forceboulangère (W)** est corrélée positivement et très significativement à la ténacité P ( $r = 0,6947$ ), positivement et significativement à l'indice d'élasticité ( $r = 0,3179$ ) et de manière positive et hautement significative au rapport de configuration  $le$  ( $r = 0,4006$ ). **ADDO** et *al*. (1990) ont aussi trouvé que la force est corrélée positivement et très significativement à la ténacité, mais ils ont aussi trouvé qu'elle est corrélée positivement et de manière hautement significative à l'extensibilité, ce qui n'est pas notre cas. **SADOUKI** et *al*. (2006) ont rapporté une corrélation positive entre la force et la ténacité et le rapport de configuration et cela de manière très significative à hautement significative respectivement. **BOCKSTAELE** et *al*. (2008) ont aussi rapporté que force est corrélée à la ténacité et à l'indice d'élasticité  $le$  et cela de manière positive et très significative ( $r = 0,774$  et  $r = 0,681$  respectivement).

**Le gonflement (G)** est corrélé négativement et très significativement à la ténacité et au rapport de configuration ( $r = - 0,7808$  et  $r = - 0,8605$  respectivement), positivement et très significativement à l'extensibilité ( $r = 0,9946$ ) et positivement et de manière significative à l'indice d'élasticité  $le$  ( $r = 0,3391$ ). **SADOUKI** et *al*. (2006) ont trouvé que ce paramètre est corrélé négativement et significativement à la ténacité ( $r = - 0,5855$ ), négativement et très significativement au rapport de configuration et enfin positivement et très significativement à l'extensibilité ( $r = 0,9371$ ).

**La ténacité(P)** est corrélée positivement et très significativement à la force W et au rapport de configuration ( $r = 0,6947$  et  $r = 0,9220$  respectivement), et négativement et très significativement à l'extensibilité ( $r = - 0,7704$ ). **BOCKSTAELE** et *al*. (2008) ont aussi rapporté que la ténacité est liée positivement et très significativement à la force et négativement et très significativement à l'extensibilité. **SADOUKI** et *al*. (2006) ont également rapporté une corrélation négative et significative entre la ténacité et l'extensibilité ( $r = - 0,6012$ ).

**Le rapport de configuration(P/L)** est corrélé négativement et très significativement au gonflement et à l'extensibilité ( $r = - 0,8605$  et  $r = -0,8298$  respectivement), positivement et très significativement à la ténacité ( $r = 0,9220$ ) et positivement et de manière hautement significative à la force ( $r = 0,4006$ ). Ces résultats sont en accord général avec ceux de **BOCKSTAELE** et *al*. (2008) qui ont trouvé que ce rapport est corrélé négativement et très significativement à l'extensibilité ( $r = - 0,831$ ), positivement et très significativement à la ténacité ( $r = 0,950$ ) et positivement et de manière hautement significative à la force ( $r = 0,565$ ).

	G (cm <sup>3</sup> )	P (mm H <sub>2</sub> O)	L (mm)	W (10 <sup>-1</sup> J)	P/L	le (%)
G (cm <sup>3</sup> )						
P (mm H <sub>2</sub> O)	-0,7808***					
L (mm)	0,9946***	-0,7704***				
W (10 <sup>-1</sup> J)		0,6947***				
P/L	-0,8605***	0,9220***	-0,8298***	0,4006**		
le (%)	0,3391*			0,3179*	-0,5296***	

**Tableau 14** : Corrélations entre les paramètres alvéographiques (coefficient de **PEARSON** « r » n=43).

\* Significative (p<0.05), \*\* Hautement significative (p<0.01), \*\*\*Très significative (p<0.001)

L'observation la plus importante tirée de ces corrélations est que parmi les paramètres alvéographiques, la ténacité P est le paramètre le plus fermement lié à la force W.

## IV.2 Corrélations entre les teneurs en protéines totales et les différentes fractions protéiques

Du **tableau 15**, il ressort que les teneurs en protéines exprimées en % de MS de toutes les fractions, à savoir les protéines monomériques, les gliadines, les albumines-globulines, les gluténines solubles, les protéines insolubles, les protéines polymériques et les protéines solubles, sont liées positivement et très significativement à la teneur en protéines totales des farines (r = 0,7325, r = 0,5557, r = 0,6421, r = 0,5786, r = 0,8559, r = 0,8298, r = 0,8992 respectivement). Cependant, ces teneurs exprimées en % des protéines totales ne sont pas liées significativement à la teneur en protéines de la farine à l'exception de la fraction gliadine qui est corrélée négativement et significativement (r = -0,3614) et de la fraction protéines insolubles qui est corrélée positivement et significativement (r = 0,3749).

**BEAN** et *al.* (1998) ont aussi trouvé que les résidus protéiques dans la farines sont plus hautement corrélés aux teneurs en protéines (r = 0,94) qu'aux quantités relatives aux protéines totales (r = 0,56).

**PARK** et *al.* (2006) ont aussi rapporté que la composition protéique varie avec la teneur en protéines des farines ; ils ont trouvé que les teneurs en protéines solubles totales, les teneurs en gliadines, les teneurs en protéines polymériques solubles et les teneurs en protéines polymériques insolubles dans la farine sont corrélées positivement et de façon significative à très significative avec les teneurs en protéines des farines.

Ces auteurs ont aussi trouvé que les teneurs en albumines-globulines exprimées en % de protéines totales sont négativement associées aux teneurs en protéine, à l'inverse des teneurs en gliadines exprimées en % des protéines totales qui sont elles associées positivement.

**Tableau 15 : Corrélations entre les teneurs en protéines totales et les différentes fractions protéiques (coefficient de PEARSON « r » n=33).**

	<b>P.T. %MS</b>
<b>P. Mon. % PT</b>	
<b>P. Mon. %MS</b>	0,7325***
<b>Gli. %PT</b>	-0,3614*
<b>Gli. %MS</b>	0,5557***
<b>A.G. %PT</b>	
<b>A.G. %MS</b>	0,6421***
<b>Glu. Sol. %PT</b>	
<b>Glu. Sol. %MS</b>	0,5786***
<b>P. Ins. %PT</b>	0,3749*
<b>P. Ins. %MS</b>	0,8559***
<b>P. Poly. %PT</b>	
<b>P. Poly. %MS</b>	0,8298***
<b>P. Sol. %PT</b>	
<b>P. Sol.%MS</b>	0,8992***

\* Significative (p<0.05),\*\* Hautement significative (p<0.01),\*\*\* Très significative (p<0.001)

Ces corrélations semblent indiquer que toutes les fractions exprimées en % de M.S sont influencées par la teneur en protéines totales des échantillons ; autrement dit plus les teneurs en protéines augmentent, plus les teneurs en ces fractions augmentent et ceci d'autant plus que les coefficients de corrélation sont élevés ; mais exprimées en % des protéines totales seules les fractions gliadines et les fractions protéines insolubles sont liées et de manière à peine significative aux teneurs en protéines totales des échantillons. Ainsi les quantités relatives de ces fractions, du fait de leur relative indépendance vis-à-vis des teneurs en protéines totales de la farine, pourraient constituer une bonne mesure de la qualité technologique intrinsèque des blés.

### **IV.3 Corrélations entre les différentes fractions protéiques et leurs ratios, et les paramètres rhéologiques de la pâte**

---

#### **IV.3.1 Relations entre les fractions protéiques et les paramètres alvéographiques**

Le **tableau 16** regroupe les résultats des corrélations obtenues entre les paramètres alvéographiques et les différentes fractions protéiques ainsi que leurs ratios. Il en ressort que :

- Les teneurs en **protéines totales** sont corrélées positivement et très significativement aux  $W$  alvéographiques, aux ténacités  $P$  et aux rapports de configuration  $P/L$  ( $r = 0,6113$ ,  $r = 0,8007$  et  $r = 0,6900$  respectivement) et négativement aux gonflement  $G$  et aux extensibilités  $L$  ( $r = -0,5515$  et  $r = -0,5524$ , respectivement). Ainsi plus les teneurs en protéines augmentent, plus élevés sont les  $W$ , les  $P$  et les  $P/L$ , inversement moindres sont les gonflements ou les extensibilités  $L$ .

**RASPER** et *al.* (1986) ont trouvé que les teneurs en protéines sont corrélées positivement et très significativement à l'extensibilité, au gonflement et à la force, positivement et de manière hautement significative à la ténacité et négativement et significativement au rapport de configuration  $P/L$ . **ADDO** et *al.* (1990) ont rapporté une relation positive et hautement significative entre la force et la teneur en protéines totales. **UTHAYAKUMARAN** et *al.* (1999), **Li** et *al.* (2008), ont également rapporté que la force boulangère mesurée à l'aide de l'extensigraphe ( $R_{max}$ ) augmente avec l'augmentation de la teneur en protéines.

Inversement **BORDES** et *al.* (2008) ont trouvé que les teneurs en protéines ne sont pas liées significativement ni à l'extensibilité ni à la force, mais qu'elles sont associées négativement et de manière hautement significative à l'indice d'élasticité, et positivement et significativement aux ténacités et aux rapports de configuration  $P/L$ . **BOCKSTAELE** et *al.* (2008) ont également rapporté que ces teneur sont corrélées positivement et de manière hautement significative à la force, mais contrairement à nos résultats, ils n'ont pas rapporté de corrélations significatives ni à la ténacité ni au rapport de configuration.

**PRESTON** et *al.* (1992) ; **PARK** et *al.* (2006) et **DOWELL** et *al.* (2008) ont trouvé que les teneurs en protéines de la farine sont positivement et hautement à très hautement corrélées avec le volume du pain

- Les teneurs en **protéines monomériques** par rapport aux protéines totales sont associées négativement et significativement aux ténacités et aux indices d'élasticité ( $r = -0,3511$  et  $r = -0,3672$ ), et négativement et de manière hautement significative à la force  $W$  ( $r = -0,4971$ ). Cette fraction exprimée en pourcentage de la matière sèche est corrélée positivement et de manière hautement significative à la ténacité et au rapport de configuration ( $r = 0,4574$  et  $r = 0,4698$  respectivement) et négativement et de manière hautement significative à l'indice d'élasticité ( $r = -0,4535$ ). Autrement dit, plus les teneurs en protéines monomériques exprimées en % des protéines totales sont élevées, moindres sont la force, la ténacité et l'indice d'élasticité.

**SAPIRSTEIN** et **FU** (1998), n'ont trouvé aucune relation entre cette fraction et les paramètres de qualité ( $R_{max}$ , extensibilité, volume du pain).

**Li** et *al.* (2008) ont rapporté que l'augmentation des teneurs en protéines monomériques, des albumines-globulines et des gliadines engendre systématiquement l'augmentation de l'extensibilité ( $Ext_{rupture}$  de l'extensigraphe).

- Les teneurs en **gliadines** par rapport aux protéines totales sont associées négativement et de façon significative à très significative aux ténacités et aux  $W$  alvéographiques respectivement ( $r = -0,4094$  et  $r = -0,6132$  respectivement). Exprimée en pourcentage de la matière sèche, cette fraction est liée positivement et

significativement au rapport de configuration P/L ( $r = 0,4139$ ), et négativement et de manière hautement significative à l'indice d'élasticité ( $r = - 0,4625$ ).

**PARK** et *al.* (2006) ont trouvé que les teneurs en gliadines dans la farine dans la farine ou en pourcentage des protéines totales sont associées positivement et de façon très significative et hautement significative au volume du pain ( $r = 0,73$  et  $r = 0,46$  respectivement).

**PENA** et *al.* (2005) n'ont également trouvé aucune relation significative entre les teneurs en gliadines et la force W ou les rapports de configuration P/L.

Il est admis que l'extensibilité L ou le gonflement G améliorent le volume du pain (**HOSSENEY** et *al.*, 1969, **PARK** et *al.*, 2006) mais dans notre cas nous n'avons trouvé aucune corrélation significative entre les teneurs en gliadines et l'extensibilité L ou le gonflement G.

Les teneurs en **albumine/globulines** par rapport aux protéines totales ne présentent aucune corrélation significative avec les paramètres alvéographiques. Cependant exprimée en pourcentage de la matière sèche, elles sont positivement et significativement liées aux ténacités P, aux W alvéographiques et aux rapports de configuration P/L ( $r = 0,4199$ ,  $r = 0,3465$  et  $r = 0,3558$  respectivement).

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

**PRESTON** et *al.* (1992) ont trouvé que la fraction protéique salino-soluble et les ratios contenant cette fraction sont les seuls à avoir montré une corrélation positive et significative avec l'index de tolérance au pétrissage du farinographe.

**Li** et *al.* (2008) ont rapporté que les albumines globulines n'ont pas d'effet évident sur les propriétés rhéologiques de la pâte.

Les teneurs en **gluténines solubles** par rapport aux protéines totales ne sont pas associées significativement aux paramètres alvéographiques, mais exprimées en pourcentage de la matière sèche elles sont liées positivement, de manière significative aux rapports de configuration P/L ( $r = 0,4697$ ) et de manière très significative à la ténacité et aux W alvéographiques ( $r = 0,6300$  et  $r = 0,5472$  respectivement) ; par contre elles sont négativement associées aux extensibilités et aux gonflements et cela de

manière hautement significative et significative respectivement ( $r = - 0,4609$  et  $r = - 0,4352$  respectivement).

**SADOUKI** et *al.* (2006) ont rapporté que cette fraction est liée négativement et de manière significative à hautement significative à la force et au gonflement. **SADOUKI** (2005) a rapporté que les paramètres L et G ne sont pas déterminés par les gluténines polymériques insolubles (constitués par les plus grands agrégats de gluténines) mais plutôt par les gluténines solubles (constituées principalement de gluténines de faibles poids moléculaires ou gluténines FPM) ou par la fraction gliadine.

Nos résultats sont en accord avec ceux de **Li** et *al.* (2008) qui ont utilisé d'autres appareils de mesure des propriétés rhéologiques des pâtes et qui ont trouvé que l'augmentation des teneurs en gluténines solubles augmente la force de la pâte (accroissement de la résistance maximale à l'extension  $R_{max}$ ) mais l'extensibilité à la rupture ( $Ext_{rupture}$ ) diminue.



Par contre **SAPIRSTEIN** et **FU** (1998) ont rapporté que cette fraction est liée négativement et de manière hautement significative à très significative à toutes les caractéristiques de qualité ( $R_{max}$ , temps de pétrissage, volume du pain, ...)

Les teneurs en **protéines insolubles** sont associées positivement et très significativement aux  $W$  alvéographiques ( $r = 0,6062$ ), et positivement et significativement aux ténacité  $P$  et aux indices d'élasticité  $le$  ( $r = 0,4017$  et  $r = 0,3886$  respectivement), cependant exprimées en pourcentage de la matière sèche elles sont positivement et très significativement liées aux ténacité et au  $W$  ( $r = 0,7354$  et  $r = 0,7485$  respectivement) ; positivement et de manière hautement significative au rapport de configuration  $P/L$  ( $r = 0,5256$ ) ; et négativement et de manière hautement significative aux extensibilité et aux gonflements ( $r = - 0,4871$  et  $r = - 0,4620$  respectivement). **SADOUKI** et *al.* (2006) ont aussi trouvé que cette fraction est corrélée de manière positive, hautement significative à très significative aux  $W$  alvéographiques et de manière significative aux gonflements (lorsque celle-ci est exprimée en % de MS).

**MOKHTARI** et **BENZAÏM** (2008) **LAKER** et **KEDDAR** (2011) ont également trouvé que les paramètres de force de la pâte (temps de pétrissage, temps de développement de la pâte) sont associés positivement et de manière significative à très significative aux teneurs en protéines insolubles par rapport aux protéines totales et par rapport à la matière sèche

**SAPIRSTEIN** et **FU** (1998) ont rapporté une forte corrélation entre les protéines polymériques non extractibles par le propanol-1 à 50 % et plusieurs paramètres de la force boulangère appréciée par le mixographe et l'extensigraphe.

**BEAN** et *al.* (1998) ont aussi utilisé le propanol-1 à 50 % et ils ont trouvé que les teneurs en résidus protéiques insolubles par rapport à la farine sont mieux corrélées aux volumes de pain et aux tolérances au pétrissage que les teneurs en résidus protéiques insolubles par rapport aux protéines totales.

**WANG** et **KOVACS** (2002) ont rapporté que c'est le pourcentage des gluténines solubles dans le propanol-1 à 40% + DDT (donc les gluténines insolubles) par rapport aux protéines totales et par rapport à la farine qui est fortement associé à quelques paramètres de force de la pâte (tolérance au pétrissage, temps de pétrissage, résistance maximale, la force  $W$ ...).

Les teneurs en **protéines polymériques** par rapport aux protéines totales sont corrélées positivement et significativement aux ténacités ( $r = 0,4321$ ), positivement et très significativement aux  $W$  alvéographiques ( $r = 0,5574$ ) et négativement et significativement aux extensibilités  $L$  ( $r = - 0,3484$ ). Exprimée en pourcentage de la matière sèche, cette fraction est liée positivement et très significativement aux ténacités, aux  $W$  et aux rapports de configuration  $P/L$  ( $r = 0,7672$ ,  $r = 0,7425$  et  $r = 0,5563$  respectivement) ; mais corrélées négativement et de manière hautement significative aux extensibilités  $L$  et aux gonflements  $G$  ( $r = - 0,5260$  et  $r = - 0,4981$  respectivement). **GUPTA** et *al.* (1993) ont suggéré que le rapport des protéines polymériques aux protéines totales est une bonne mesure de la qualité des protéines.

Il est à noter que les teneurs en protéines polymériques dans la farine sont mieux corrélés aux paramètres alvéographiques que celles par rapport aux protéines totales.

Les teneurs en **protéines solubles** par rapport aux protéines totales sont corrélées négativement et de manière hautement significative qu'aux  $W$  alvéographiques ( $r =$

- 0,4931). Par contre exprimées en pourcentage de la matière sèche, cette fraction est liée à tous les paramètres alvéographiques ; ainsi elle est corrélée positivement et très significativement à la ténacité P et au rapport de configuration P/L ( $r = 0,6755$  et  $r = 0,6185$  respectivement), positivement et de manière significative aux W alvéographiques ( $r = 0,4291$ ) et négativement et significativement à l'extensibilité L, au gonflement G et à l'indice d'élasticité le ( $r = - 0,4220$ ,  $r = - 0,4375$  et  $r = - 0,4208$  respectivement).

**SAPIRSTEIN** et **FU** (1998) et **SUCHY** *et al.* (2007) ont rapporté des relations négatives et très significatives entre le temps de pétrissage et les protéines solubles dans le propanol-1 à 50 % ( $r = -0,95$  et  $r = -0,69$  respectivement).

**MOKHTARI** et **BENZAÏM** (2008) ont également trouvé que les teneurs en protéines solubles sont associées négativement et très significativement paramètres de force de la pâte appréciés par le mixographe (temps de développement de la pâte)

#### **IV.3.2 Relations entre les différents ratios protéiques calculés et les paramètres alvéographiques**

Concernant les différents ratios calculés, il ressort du **tableau 16** que :

- Les ratios **protéines solubles/protéines polymériques** ainsi que les ratios **protéines solubles /protéines insolubles** sont négativement et significativement liés à la ténacité et à l'indice d'élasticité, et négativement et très significativement corrélés au W alvéographiques. **LAKER** et **KEDDAR** (2011) ont trouvé que ce ratio est associé négativement et significativement à la force boulangère appréciée par le mixographe (temps de développement de la pâte).
- Les ratios **protéines monomériques /protéines insolubles** sont associés négativement et significativement aux ténacités et aux indices d'élasticité ( $r = - 0,4196$  et  $r = - 0,4155$  respectivement) et négativement et très significativement aux W alvéographiques ( $r = - 0,6067$ ), mais positivement et significativement aux extensibilités ( $r = 0,3486$ ). **MOKHTARI** et **BENZAÏM** (2008), **LAKER** et **KEDDAR** (2011) ont trouvé des corrélations négatives hautement à très significatives entre ces ratios et les paramètres de forces de la pâte appréciés par le mixogramme.
- Il en va un peu de même pour les ratios **protéines monomériques /protéines polymériques**, qui sont corrélés négativement de façon hautement significative aux W alvéographiques ( $r = - 0,5393$ ) et de façon hautement significative aux ténacités P ( $r = - 0,4020$ ) et aux indices d'élasticité le ( $r = - 0,3469$ ). **WANG** et *al.* (2007) ont trouvé que le ratio protéines polymériques /protéines monomériques est corrélé avec le volume du pain ( $r = 0,96^{**}$ ).
- Les ratios **gliadines/protéines solubles** sont négativement et significativement liés aux ténacités P, et négativement et de manière hautement significative aux W alvéographiques ( $r = - 0,3657$  et  $r = - 0,5052$  respectivement).
- Les ratios **gliadines/protéines polymériques** et **gliadines/protéines insolubles** sont liés négativement et de manière hautement significative aux ténacités ( $r = - 0,4499$  et  $r = - 0,4525$  respectivement) et négativement et très significativement aux W alvéographiques ( $r = - 0,6371$  et  $r = - 0,6748$  respectivement). Le second ratio est aussi lié négativement et significativement aux indices d'élasticité ( $r = - 0,3759$ ). **LAKER** et **KEDDAR** (2011) ont aussi trouvé que les temps de développement de la pâte au mixogramme, sont associés négativement et de manière hautement significative à ces ratios.

Tableau 16 : Corrélations entre les paramètres alvéographiques et les différentes fractions protéiques (coefficient de PEARSON « r » n=33).

	W	G	L	P	P/L	le
P.T. %	0,6113***	-0,5524***	-0,5515***	0,8007***	0,6900***	
P.T. %MS	0,6397***	-0,5308**	-0,5310**	0,8007***	0,6735***	
P.Mon. %PT	-0,4971**			-0,3511*		-0,3672*
P.Mon. %MS				0,4574**	0,4698**	-0,4535**
Gli. %PT	-0,6132***			-0,4094*		
Gli. %MS					0,4139*	-0,4625**
AG. %MS	0,3465*			0,4199*	0,3558*	
Glu..Sol. %MS	0,5472***	-0,4352*	-0,4609**	0,6300***	0,4697**	
P.Ins. %PT	0,6062***			0,4017*		0,3886*
P.Ins. %MS	0,7485***	-0,4620**	-0,4871**	0,7354***	0,5256**	
P.Poly. %PT	0,5574***		-0,3484*	0,4321*		
P.Poly. %MS	0,7425***	-0,4981**	-0,5260**	0,7672***	0,5563***	
P.Sol. %PT	-0,4931**					-0,4496**
P.Sol. %MS	0,4291*	-0,4375*	-0,4220*	0,6755***	0,6185***	-0,4208*
P.Sol./P.Poly.	-0,5804***			-0,4121*		-0,3896*
P.Sol./P.Ins.	-0,6086***			-0,3935*		-0,4383*
P.Mon./P.Ins.	-0,6067***		0,3486*	-0,4196*		-0,4155*
P.Mon./P.Poly.	-0,5393**			-0,4020*		-0,3469*
Gli/P.Sol	-0,5052**			-0,3657*		
Gli/P.Poly.	-0,6371***			-0,4499**		
Gli/P.Ins.	-0,6748***			-0,4525**		-0,3759*

\* Significative (p < 0.05), \*\* Hautement significative (p < 0.01), \*\*\* Très significative (p < 0.001)

Après analyse des corrélations qui existent entre les paramètres rhéologiques et les différentes fractions protéiques ainsi que leurs ratios, il en ressort que :

Les protéines insolubles, les protéines polymériques (exprimées en % de M.S. ou des protéines totales) et les gluténines solubles exprimées en % de M.S. sont les fractions les plus fortement associées positivement avec le W alvéographique. Inversement les gliadines exprimées en % des protéines totales, et à un degré moindre les protéines monomériques et les protéines solubles (exprimées en % des protéines totales) sont associées négativement à ce paramètre de force.

Tous les ratios calculés sont associés négativement et de façon hautement significative à très significative aux W alvéographiques et de façon significative à hautement significative aux ténacités P.

Concernant les relations entre les fractions protéiques et les ténacités P, du fait de la forte relation entre le W et le P, les mêmes fractions corrélées aux W alvéographique sont aussi corrélées aux ténacités P.

Aussi les gluténines solubles, les protéines insolubles, et les protéines polymériques (exprimées en % de M.S.) sont les fractions les mieux corrélées positivement aux ténacités P et à un degré moindre les protéines insolubles et les protéines polymériques exprimées en % des protéines totales.

Les protéines monomériques exprimées en % de la matière sèche sont aussi bien associées aux ténacités. L'association entre les fractions albumines-globulines et les ténacités P est à peine significative.

Inversement seules les protéines monomériques et les gliadines (exprimées en % des protéines totales) sont associées négativement aux ténacités P.

Concernant les gonflements G, aucune fraction protéique n'a été associée positivement à ce paramètre dans notre étude. Au contraire certaines fractions telles que les gluténines solubles, les protéines insolubles les protéines polymériques et les protéines solubles exprimées en % de M.S. sont toutes associées négativement aux gonflements G.

---

# CONCLUSION

Dans ce travail nous avons testé des méthodes récentes de fractionnement séquentiel des protéines de farine de blé tendre, afin d'obtenir des fractions relativement homogènes pour ensuite déterminer les relations possibles entre celles-ci et les caractéristiques de qualité technologique appréciée par l'alvéographe CHOPIN.

Au terme de cette étude, les résultats obtenus nous conduisent aux conclusions suivantes :

## 1/Concernant l'analyse technologique,

- La majorité des blés étudiés (26 sur 44) ont un taux d'extraction compris entre 60 et 70%, un seul a donné un taux de 71%, 11 ont donné des taux allant de 50 à 60%, enfin 6 ont des taux compris entre 38 et 48%.
- S'agissant des caractéristiques alvéographiques, et par référence à la norme I.S.O. 5530/04, les résultats obtenus montrent que :
  - la majorité des blés soumis à cet essai (25 sur 43) sont des blés de force ; avec des W alvéographiques élevés, des ténacités P élevées à très élevées, des rapports de configuration P/L déséquilibrés et élevés, mais des gonflements G faibles ; ce sont donc des blés impanifiables en l'état à l'exception de la variété **KATILA** qui présente un caractère améliorant pour le W et le G en même temps.
  - Les 18 autres génotypes sont des blés panifiables courants présentant une bonne force boulangère dont 3, à savoir **ASFOOR-3**, **AMEL/2\***, **HUD-2** (cultivées au niveau de la station de Oued Smar) sont des blés améliorants.
  - Les génotypes HUD-2, ATRIS-1, ACSAD 529, BL 1133, HİDHAB (khroub), HAMMAM-4(oued smar), K134 60et SHUHA-7 possèdent de bons gonflements (G compris entre 21 et 23).
  - Les indices d'élasticité des génotypes étudiés sont tous moyens à bons, à l'exception de huit variétés qui présentent des indices élevés.
  - La majorité des blés de bonne force boulangère proviennent de la station de Oued-Smar [essai national 2<sup>ème</sup> année], et la majorité des blés de force sont ceux provenant de la station d'El-Khroub [essai répété de rendement 2<sup>ème</sup> Année].

2/ Concernant l'analyse des corrélations entre les différents tests d'appréciation de la qualité effectués, les conclusions peuvent être synthétisées comme suit :

- De l'analyse des corrélations entre les paramètres alvéographiques, il ressort qu'une corrélation étroite lie la ténacité P à la force W.
- De l'analyse des corrélations entre les différentes fractions protéiques, il ressort que toutes les fractions (exprimées en % de M.S) sont influencées par les teneurs en protéines des échantillons ; autrement dit plus les teneurs en protéines augmentent, plus les teneurs en ces fractions augmentent et ceci d'autant plus que les coefficients

de corrélation sont élevés ; mais exprimées en % des protéines totales seules les fractions gliadines et les fractions protéines insolubles sont liées de manière à peine significative à la teneur en protéines totales des échantillons. Ainsi les quantités relatives de ces fractions, du fait de leur relative indépendance vis-à-vis de la teneur en protéines totales de la farine, peuvent constituer une bonne mesure de la qualité technologique intrinsèque des blés.

De l'analyse des corrélations entre les paramètres alvéographiques et les différentes fractions protéiques ainsi que leurs ratios, il ressort que :

- Les protéines totales ainsi que les protéines insolubles, les protéines polymériques (exprimées en % de M.S. et des protéines totales) et les gluténines solubles exprimées en % de M.S. sont les fractions les plus fortement associées positivement au W alvéographique. Inversement les gliadines exprimées en % des protéines totales, les protéines monomériques et les protéines solubles (exprimées en % des protéines totales) sont associées négativement à ce paramètre de force.
- Tous les ratios calculés sont associés négativement et de façon hautement significative à très significative aux W alvéographiques et de façon significative à hautement significative aux ténacités P.
- Concernant les relations entre les fractions protéiques et les ténacités P, du fait de la forte relation entre le W et le P, les mêmes fractions corrélées aux W alvéographiques sont aussi corrélées aux ténacités P ; ainsi les protéines totales, les gluténines solubles, les protéines insolubles, les protéines polymériques et les protéines solubles (exprimées en % de M.S.) sont les mieux positivement corrélées aux ténacités P et à un degré moindre les protéines insolubles et les protéines polymériques exprimées en % des protéines totales.
- Les protéines monomériques exprimées en % de la matière sèche sont aussi bien associées aux ténacités. L'association entre les fractions albumines-globulines et les ténacités P est à peine significative.
- Inversement seules les protéines monomériques et les gliadines (exprimées en % des protéines totales) sont associées négativement aux ténacités P.
- Concernant les gonflements G, aucune fraction protéique n'a été associée positivement à ce paramètre dans notre étude. Au contraire certaines fractions telles que les gluténines solubles, les protéines insolubles, les protéines polymériques et les protéines solubles exprimées en % de M.S. sont toutes associées négativement aux gonflements G.

Enfin, à partir de toutes ces corrélations, il se dégage plus particulièrement que les teneurs en protéines totales, les protéines insolubles et les protéines polymériques (par rapport aux protéines totales et à la matière sèche), les gluténines solubles et les protéines solubles (par rapport à la matière sèche) ont un effet positif sur la force alvéographique, à l'inverse des protéines monomériques, des gliadines et des protéines solubles (en % des protéines totales) qui ont un effet négatif sur cette caractéristique. Il en va un peu de même pour la ténacité P.

Comme continuité à ce travail, il serait intéressant de vérifier la pureté des fractions protéiques par HPLC, RP-HPLC ou encore l'électrophorèse bidimensionnelle. Par ailleurs,

une fois la pureté vérifiée, il est possible d'extraire de plus grandes quantités de fractions, les lyophiliser et les incorporer à la farine, à différentes doses, pour en étudier l'effet direct sur la qualité boulangère.

## REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

### A

- ADDO K., COAHRAN D. R., POMERANZ Y., (1990).** A new parameter related to loaf volume based on the first derivative of the alveograph curve. *Cereal Chemistry*, vol. 67, n. 1, p.p. 64-69.
- A.F.N.O.R., (1982).** Recueil de normes françaises des céréales et produits céréaliers. 1<sup>ère</sup> Ed, Paris la Défense,.
- AUSSENAC T., CARCELLER J.L., KLEIBER D., (2001).** Changes in SDS solubility of glutenin polymers during dough mixing and resting. *Cereal Chemistry*, vol. 78, p.p. 39-45.
- 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 E. F., REDMAN D. G., (1979).** Note on the sodium dodecyl sulfate test of breadmaking quality: comparison with PELSHENKE and ZELENY test. *Cereal Chemistry*, vol. 56, p.p. 582-584.

### B

- BEAN S. R., LYNE R. K., YILLEY K. A., CHUNG O. K., LOOKHART G. L., (1998).** A rapid method for quantification of insoluble polymeric proteins in flour. *Cereal Chemistry*, vol. 75, n. 3, p.p. 374-379.
- BERLAND S. et ROUSSEL P., (2005) .** Qualité technologique. Document de École Nationale Supérieure de Meunerie et des Industries Céréalières (ENSMIC), Surgères, France.
- BIETZ J. A., WALL J. S., (1972).** Wheat gluten subunits: molecular weights determined by sodium sulphate- polyacrylamide gel electrophoresis. *Cereal Chemistry*, vol. 49, p.p. 416-430.
- BIETZ J. A., WALL J. S., (1973).** Isolation and characterization of gliadin-like subunits from glutenin. *Cereal Chemistry*, vol. 50, p.p. 527-547.
- 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.
- BORDES J., BRANLARD F.X., OURY F.X., CHARMET G., BALFOURIER F., (2008).** Agronomic characteristics, grain quality and flour rheology of 372 bread wheats in a worldwide core collection. *Journal of Cereal Science*, vol. 48, p.p. 569-579.
- BOUDINA Y., HARITI M., (2004).** Contribution à l'analyse des fractions protéiques, lipidiques et la détermination de quelques caractéristiques technologiques de



quelques génotypes de bléstendres. Mémoire d'Ingénieur, I.N.A, El-Harrach, Algérie, 66 p.

**BOULOUZA N. , ZANAZ N. F. K., (2010).** Contribution à la quantification des gluténines de blé tendre ; relation entre les teneurs en gluténines et quelques aspects de la qualité boulangère. Mémoire d'ingénieur, E.N.S.A , El-Harrach, Algérie, 113 p.

**BOURDET A., (1976).** Nécessité d'une harmonisation des critères de jugement de la valeur boulangère des blés de la sélection à l'utilisation. *Technologie des Industries des Céréales*, vol. 158, p.p. 3-11.

**BRANLARD G., ROUSSET M., (1980).** Les caractéristiques électrophorétiques des gliadines et la valeur en panification du blé tendre. *Annales de l'Amélioration des Plantes*, vol. 80, p.p. 130-149.

**BUSHUK W., ZILLMAN R.R., (1978).** Wheat cultivar identification by gliadin electrophoregrams. I. Apparatus, method and nomenclature. *Canadian Journal of Plant Science*, vol. 58, p.p. 505-515.

### C

**CALVELR.,(1973).** L'évolution de la qualité du pain français. Bull. Anc. Elèves, E.F.M., 254, p.p. 59-71.

**CALVEL R., (1980).** La boulangerie moderne. 9<sup>ème</sup> Ed. *Eyrolles*, Paris, p.p. 11-64.

**CARTER B.P., MORRIS C.F., ANDERSON J.A., (1999).** Optimizing the SDS Sedimentation Test for End-Use Quality Selection in a Soft White and Club Wheat Breeding Program. *Cereal Chemistry*, vol. 76, n.6, p.p. 907–911.

**CINCO-MOROYOQUI F. J., MACRITCHIE F., (2008).** Quantitation of LMW-GS to HMW-GS ratio in wheat flours. *Cereal Chemistry*, vol. 85, n. 6, p.p. 824-829.

### D

**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.

**DOBRSZCZYK, B. J., SALMANOWICZ, B. P., (2008).** Comparison of predictions of baking volume using large deformation rheological properties. *Journal of Cereal Science*, vol. 47, p.p. 292-301.

**DOBRSZCZYK B. J., SCHOFIELD J. D., (2002).** Rapid assessment and prediction of wheat and gluten baking quality with the 2-g direct drive mixograph using multivariate statistical analysis. *Cereal Chemistry*, vol. 79, n. 5, p.p. 607-612.

**DOLIGÉ J. P., Dir., (1994).** Newsletter for flour producers and users. CHOPIN Tribune, Tripette & Renaud, Villeneuve-la-Garenne – France, n.1.

**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. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, vol. 53, p.p. 1575-1584.

**DUPUIS M., BUSHUK W., SAPIRSTEIN H. D., (1996).** Characterization of acetic acid and insoluble fractions of glutenin of bread wheat. *Cereal Chemistry*, vol. 73, n. 1, p.p. 131-135.

## F

**FAOSTAT:** <http://faostat.fao.org>.

**FEILLET P., (1980).** Wheat proteins evaluation measurement of wheat quality in recent progress in cereal chemistry and technology. INGLETT G. and MUNCK M., *Academy press*, New York, p.p. 198-200.

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

**FU B. X., KOVACS M. I. P., (1999).** Rapid single-Step procedure for isolating total glutenin proteins of wheat flour. *Journal of Cereal Science*, 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 chemistry*, vol. 73, n. 1, p.p. 143-152.

## G

**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.

**GIROUX M. G., MORRIS C.F., (1997).** A glycine to serine change in puroindoline b is associated with wheat grain hardness and low levels of starch-surface friabilin. *Theoretical and applied genetics*, vol. 95, p.p.857-864.

**GIROUX M. G., MORRIS C.F., (1998).** Wheat grain hardness results from highly conserved mutations in the friabilin components puroindolin a and b. *Proceeding of National Academy of Science*.

**GODON B., (1995).** Le pain. *Pour la science*. Dossier hors série de mars (science et gastronomie), p.p.16-25.

**GODON B., WILLM C., (1991).** Biotransformation des produits céréaliers : les constituants des céréales : nature, propriétés et teneurs. Paris, *Lavoisier*, p.p. 1-19. (Collection sciences et techniques agro-alimentaires).

GOESAERT H., BRIJS K., VERAVERBEKE W.S., COURTIN C.M., GEBRUERS K.,

**GUPTA R. B., BATEY I. L., MACRITCHIE F., (1992).** Relationships between protein composition and functional properties of wheat flours. *Cereal Chemistry*, vol. 69, n. 2, p.p. 125-131.

- GUPTA R. B., BEKES F., WRIGLEY C. W., (1991).** Prediction of dough physical properties from glutenin subunits composition in bread wheats: Correlation studies. *Cereal Chemistry*, vol. 68, p.p. 328-333.
- 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. *Journal of Cereal Science*, vol. 18, p.p. 23-41.
- GUPTA R. B., MACRITCHIE F., (1991).** A rapid one-step one-dimensional SDS-PAGE procedure for analysis of subunits composition of glutenin in wheat. *Journal of Cereal Science*, vol. 14, p.p. 105-109.
- GUPTA R. B., SHEPHERD K. W., (1987).** Interaction between genes controlling a new group of glutenin subunits in bread wheat. *Theoretical and applied genetics*, vol. 74, p.p. 459-465.
- GUPTA R. B., SHEPHERD K. W., (1990).** Two-step one-dimensional SDS-PAGE analysis of LMW subunits of glutelin. 1. Variation and genetic control of the subunits in hexaploid wheats. *Theoretical and Applied Genetics*, vol. 80, p.p. 65-74.

## H

- HOSENEY R. C., FINNEY K. F., SHOGREN M. D., POMERANZ Y., (1969) a.** Functional (breadmaking) and biochemical properties of wheat flour components. II. Role of water-solubles. *Cereal Chemistry*, vol. 46, p.p. 117-125.
- HOULIAROPOULOS E., (1982).** Détermination, utilisation en sélection variétale et bases biochimiques des propriétés viscoélastiques du gluten du blé tender. Thèse de Docteur Ingénieur, U.S.T.L., Montpellier, 123 p.

## 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.
- JONES B.L., LOOKHART G.L., HALL S.B., FINNEY K.F., (1982).** Identification of wheat cultivars by gliadin electrophoresis: electrophoregrams of the 88 wheat cultivars most commonly grown in the united states in 1979. *Cereal Chemistry*, vol. 59, n. 3, p.p. 191-188.
- JOUDRIER P., ALARY R., LULIEN-PELERIN V., LAMOTTE F., KOBREHEL K., GAUTIER M. F., (1998).** Apports potentiel de la transgénèse pour l'amélioration de la qualité des blés. *Industries des Céréales*, n. 106, p.p. 10-14.

## K

- KASARDA D.D., BERNARDIN J.E., NIMMO C.C., (1976).** Wheat protein. *Advances in Cereal Science and Technology*, vol. 1, p.p. 158-236.
- KITISSOU P., (1995).** Un nouveau paramètre alvéographique: l'indice d'élasticité (Ie). *Industries des Céréales*, vol. 92, p.p. 9-17.

## L

- LAKERK., KEDDAR M. N., (2011).** Contribution à un meilleur fractionnement des protéines de blés tendres; relations entre les teneurs en protéines des fractions solubles et protéines insolubles et quelques caractéristiques de la qualité boulangère. Mémoire d'ingénieur, E.N.S.A , El-Harrach, Algérie, 96 p.
- LAWRANCE G.J., PAYNE P.I., (1983).** Detection by gel electrophoresis of oligomers formed by the association of high-molecular-weight glutenin protein subunits of wheat endosperm. *Journal of Experimental Botany*, vol. 34, p.p. 254-267.
- LE BLANC A., (2008).** Alimentation humaine, Condensé de cours. École Nationale Supérieure de Meunerie et des Industries Céréalières (ENSMIC), Surgères, France.
- 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. *Journal of Cereal Science*, 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.

## M

- MACRITCHIE F., DUCROS D. L., WRIGLEY C. W., (1990).** Flour polypeptides related to wheat quality. *Advances in Cereal Science and Technology*, 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.
- MARTIN J. M., FROHBERG R. C., MORRIS C. F., TALBERT L. E., GIROUX M. J., (2001).** Milling and breadmaking traits associated with puroindoline sequence type in hard red spring wheat. *Crop Science*, vol. 41, p.p. 228-234.
- 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.
- 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.
- MENKOVSKA M., KNEZEVIC D., IVANOVSKI M., (2002).** Protein allelic composition, dough rheology and baking characteristics of flour mill streams from wheat cultivars with known and varied baking qualities. *Cereal Chemistry*, vol.79, n. 5, p.p. 720-725.
- MIFLIN B. J., FIELD J. M., SHEWRY P. R., (1983).** Cereal storage proteins and their effect on technological properties. Cite par MOSSE D. J., VAUGHAN J., (Eds), Seed proteins. *Photochemistry society of Europe symposium*, Series n. 20. London: Academic Press, p.p. 255-319.

**MOKHTARI M., BENZAIM R., (2008).** Relation entre les teneurs en protéines de quelques fractions protéiques de farines de blé tendre et quelques aspects de la valeur boulangère. Mémoire d'ingénieur, E.N.S.A, El Harrach, Algérie, 88 p.

**MORRIS C.F., PASZCZYNSKA B., BETTGE A.D., KING G.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.

## N

**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 Chemistry*, vol. 83, n. 3, p.p. 255-258.

**Norme algérienne N.A. 1132-1990 (I.S.O. 712):** Détermination de la teneur en eau.

**Norme algérienne N.A. 1158-1990 (I.S.O. 1871):** Dosage de l'azote totale avec minéralisation selon la méthode Kjeldahl.

**Norme I.S.O. 5530-04:** Caractéristiques alvéographiques moyennes pour la panification

## O

**OBREHT D., DEN#I# S., DJAN M,VAPA LJ., (2005).**Effect of glu-b1 allelic variability on bread-making quality in wheat.annals of the faculty of engineering hunedoara.tome3, fascicule3.

**ORTH R. A., BUSHUK W., (1972).** A comparative study of the proteins of wheat's of diverse baking qualities. *Cereal Chemistry*, vol. 49, n. 5, p.p. 268-275.

**OSBORNE T. B., (1907).** The proteins of wheat kernel. *Carnegie, Inst*, WASHINGTON DC. Publ. 84.

## P

**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 Chemistry*, vol. 83, n. 4, p.p. 418-423.

**PAYNE P. I., HOLT L. M., WORLAND A. J., LAW C. N., (1982).** Structural and genetical studies on the high-molecular-weight subunits of wheat glutenin. 3. Telocentric mapping of the subunit genes on the long arms of the homologous group 1 chromosomes. *Theoretical and applied genetics*, vol. 31, p.p. 129-138.

**PAYNE P. I., CORFIELD K. G., BLACKMAN J. A., (1981).** Correlation between the inheritance of certain high-molecular-weight subunits of glutenin and bread-making quality in progenies of six crosses of bread wheat. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, vol. 32, p.p. 51-60.

**PAYNE P. I., CORFIELD K. G., HOLT L.M., BLACKMAN J. A., (1979).** Identification of high-molecular-weight subunit of glutenin whose presence correlates with bread-making quality in wheats of related pedigree. *Theoretical and applied genetics* , vol. 55, p.p. 153-159.

**PAYNE P.I., HOLT L.M., JACKSON E. A., LAW C. N., (1984).** Wheat storage proteins, their genetics and their potential for manipulation by plant breeding. *Philos-trans. R.Soc. LONDON. Ser. B.*, vol. 304, p.p.359-371.

**PAYNE P.I., LAW C.N., MUDD E.E., (1980).** Control by homoeologous group 1 chromosomes of the high-molecular-weight subunits of glutenin, a major protein of wheat endosperm. *Theoretical and applied genetics*, vol. 58, p.p. 113-120

**PECHANEK U., KARGER A., GRÖGER S., CHARVAT B., SCHÖGGL G., LELLEY T., (1997).** Effect of nitrogen fertilization on quality of flour proteins components, dough properties, and breadmaking quality of wheat. *Cereal Chemistry*, vol.74 n. 6, p.p. 800-805.

**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.

**PRESTON K. R., MARCH P. R., TRIPPLES K. H., (1982).** An assessment of the SDS-sedimentation test for the prediction of Canadian bread wheat quality. *Canadian Journal of Plant Science*, vol. 62, p.p. 545-553.

**PRESTON K., R., LUKOW O. M., MORGAN B., ( 1992).** Analysis of relationships between flour quality properties and protein fractions in a world wheat collection. *Cereal Chemistry*, vol. 69, n. 5, p.p. 560-567.

## R

**RASPER V. F., PICO M. L., FULCHER R. G., (1986).** Alveography in Quality Assessment of Soft White Winter Wheat Cultivars. *Cereal Chemistry*, vol. 63, n. 5, p.p. 395-400.

**ROBERTSON G. H., CAO T. K., ORTS W. J., (2007).**wheat proteins extracted from flour and batter with aqueous ethanol at subambient temperatures. *Cereal Chemistry*, vol. 84, n. 5, p.p. 497-501.

**RONDA F., RODRIGUEZ-NOGALES J., SANCHO D., OLIETE B., GOMEZ M., (2007).**Multivariate optimisation of a capillary electrophoretic method for the separation of glutenins. Application to quantitative analysis of the endosperm storage proteins in wheat.*Food Chemistry*, vol. 108, p.p. 287–296.

**ROUSSEL P., LOISEL W., (1984).** Test de laboratoire. Cité par: GODON B., LOISEL W., (1997). Guide pratique d'analyse dans les industries des céréales. Ed. *Tec et Doc. Lavoisier, APRIA*, 479 p.

**ROUSSET M., (1976).** Amélioration du blé tendre pour la valeur d'utilisation. *Annales de l'I.N.A.*, p.p. 1-18.

## S

**SADOUKI H., (2005).** Contribution à une meilleure compréhension des bases biochimique de la qualité boulangère des blés tenders en vue de l'amélioration des variétés algériennes. Thèse de Doctorat, I.N.A. El-Harrach, Algérie, 120 p.

**SADOUKI H., CAZALIS R., AZZOUT B., (2006).** Fractionation of Algerian common wheat proteins with 50 p.100 2-propanol: relationship with technological quality. *Swiss society of Food Science and Technology*, vol. 39, p.p. 70-79.

- 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.
- 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. *Journal of the Science of Food and Agriculture..*, vol. 73, p.p. 397-406.
- SHEWRY P. R., TATHAM A. S., FORDE J., KREIS M., MIFL1N B. J., (1986).** The Classification and nomenclature of wheat gluten proteins. A reassessment. *Journal of Cereal. Science*, vol. 4, p.p. 97-106.
- SINGH N. K., SHEPHERD K. W., (1985).** The structure and genetic control of a new class of disulfide-linked proteins in wheat endosperm. *Theoretical and applied genetics*, vol. 71, p.p. 79-92.
- SOLTNER D., (2005).** Phytotechnie spéciale : les grandes productions végétales : céréales, plantes sarclées, prairies. *Sciences et techniques agricoles*, Angers.472 p. (Collection Sciences et techniques agricoles).
- 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. *Journal of the Science of Food and Agriculture..*, 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.

## 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 Chemistry*, vol. 76, n. 3, p.p. 89-394.
- UTHAYAKUMARAN S., BARKER N., BATEY I. L., DINES J., MISKELLY D., WRIGLEY C. W., (2007).** Rapid methods to predict soft wheat quality for specific wheat products. *Cereal Chemistry*, vol. 84, n. 5, p.p. 522-526.
- UTHAYAKUMARAN S., LISTIOHADI Y., BARATTA M., BATEY I. L., WRIGLEY C. W., (2006).** Rapid identification and quatitation of high-molecular-weight glutenin subunits. *Journal of Cereal Science*, vol. 44, p.p. 34-39.

## V

- 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. *Journal of Cereal Science*, vol. 28, p.p. 25-32.

## W

- 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 Chemistry*, 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 Chemistry*, vol.79, n.2, p.p. 190-19.
- WANG Y. G., KHAN K., HARELAND G., NYGARD G., (2006).** Quantitative glutenin composition from gel electrophoresis of flour mill streams and relationship to breadmaking quality. *Cereal Chemistry*, vol. 83, n. 3, p.p. 293-299.
- 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 Chemistry*, vol. 84, n. 3, p.p. 271-275.
- 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 H., (2000).** Simple determination of gluten proteins types in wheat flour by turbidimetry. *Cereal Chemistry*, vol.77, n. 1, p.p. 48-52.
- WIESER H., (2007).** Chemistry of gluten proteins. *Food Microbiology*, vol. 24, p.p. 115–119.
- WOYCHICK J. H ., BOUNDY J. A., DILMER R. G., (1961).** Starch gel electrophoresis of wheat gluten proteins with concentrated urea. *Arch. Biochem. Biophys.*, vol. 94, p.p. 477-482.

X

- XIAO Z. S., PARK S. H., CHUNG O. K., CALEY M. S., SEIB P. A., (2006).** Solvent retention capacity values in relation to hard winter wheat and flour properties and straight-dough breadmaking quality. *Cereal chemistry*, vol. 83, n. 5, p.p. 465-471.

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.
- 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.



# Annexes

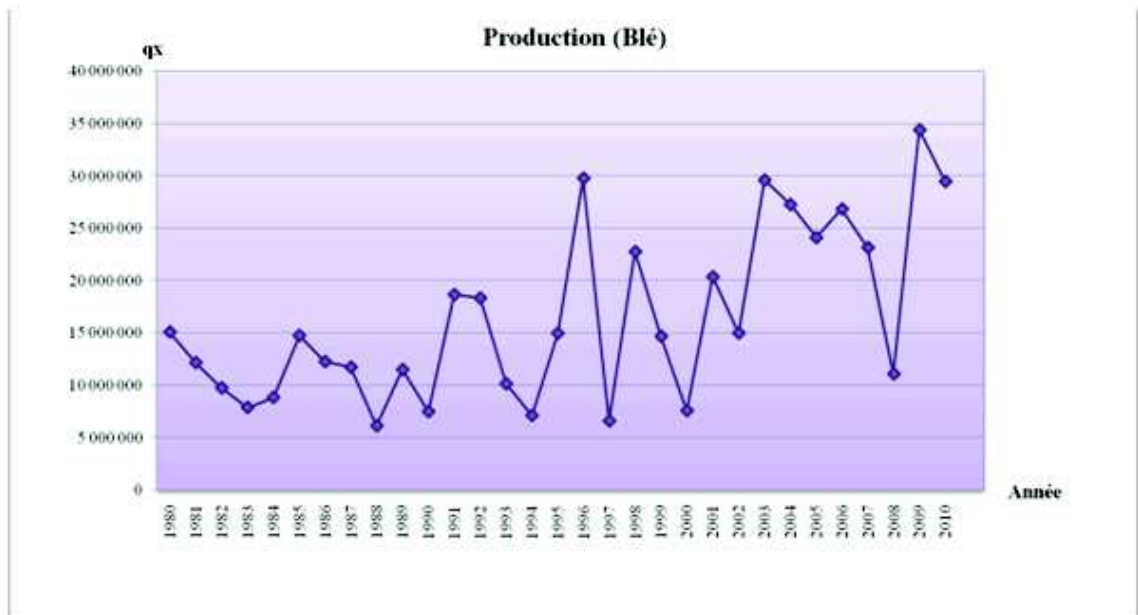
## ANNEXE 1 PRODUCTION ET RENDEMENT DUBLEET DU BLE TENDRE (1980-2010)

1/ Evolution du rendement et de la production du blé et du blé tendre (1980 à 2010)

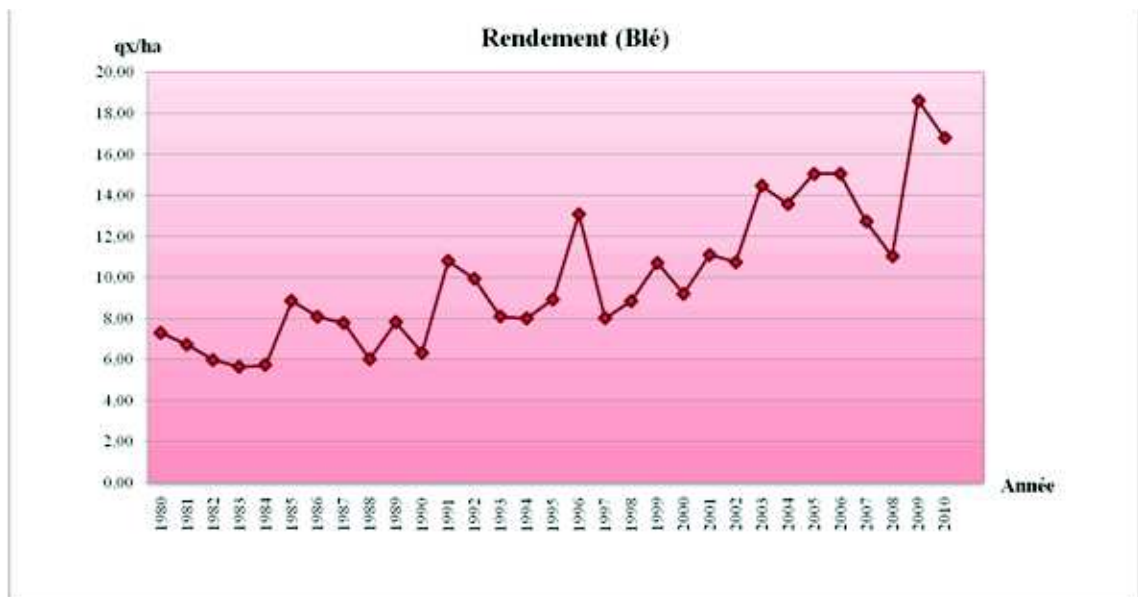
Année	Blé		Blé tendre	
	Production (qx)	Rendement (qx/ha)	Production (qx)	Rendement (qx/ha)
1980	15 114 860	7,30	5 849 510	8,04
1981	12 183 800	6,72	4 502 820	7,29
1982	9 770 700	5,97	3 444 620	6,63
1983	7 897 860	5,64	2 977 560	5,92
1984	8 865 690	5,73	3 006 000	5,57
1985	14 780 180	8,86	5 161 590	8,88
1986	12 288 070	8,08	4 441 400	8,19
1987	11 748 030	7,78	3 982 620	7,72
1988	6 144 230	6,01	1 990 510	5,57
1989	11 521 670	7,82	3 388 180	7,32
1990	7 500 800	6,31	1 951 340	6,10
1991	18 693 880	10,81	5 775 990	10,93
1992	18 367 520	9,94	4 912 210	9,53
1993	10 165 030	8,10	2 204 380	7,80
1994	7 139 640	8,00	1 515 360	7,25
1995	14 999 200	8,92	3 112 500	6,17
1996	29 826 040	13,09	9 480 340	13,68
1997	6 615 140	8,02	2 060 500	8,79
1998	22 800 000	8,85	7 800 000	8,97
1999	14 700 000	10,71	5 700 000	11,79
2000	7 603 610	9,20	2 740 270	9,71
2001	20 392 130	11,10	8 003 480	11,05
2002	15 018 030	10,74	5 508 360	9,42
2003	29 648 520	14,48	11 625 590	14,86
2004	27 307 000	13,58	7 290 000	10,37
2005	24 147 275	15,06	8 460 185	15,08
2006	26 879 300	15,07	9 151 300	14,74
2007	23 189 625	12,74	7 899 640	12,49
2008	11 110 325	11,04	2 972 210	10,60
2009	34 451 000	18,64	11 093 000	18,94
2010	29 527 000	16,82	9 142 000	15,93

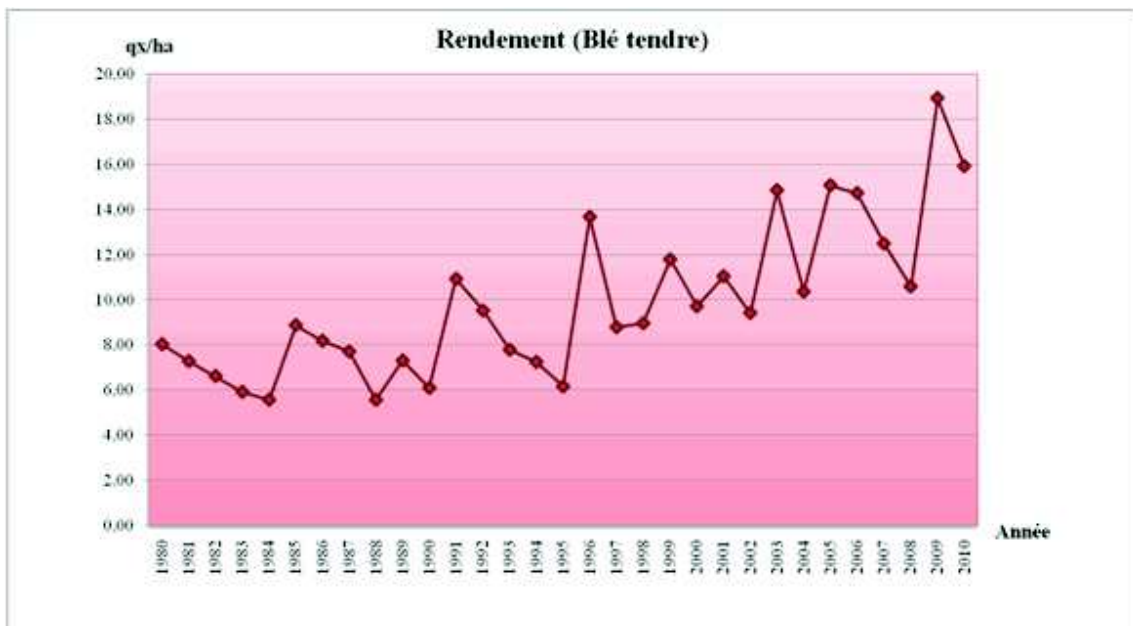
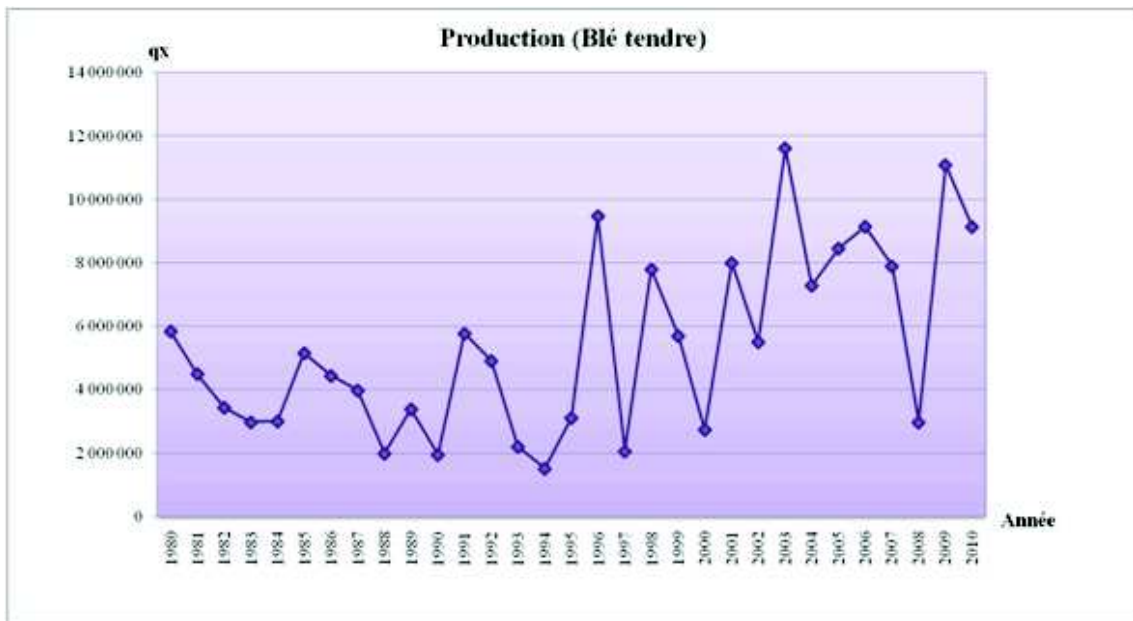
Source : M.A.D.R.

Contribution à une meilleure connaissance des relations entre la composition protéique des farines et leurs caractéristiques alvéographiques

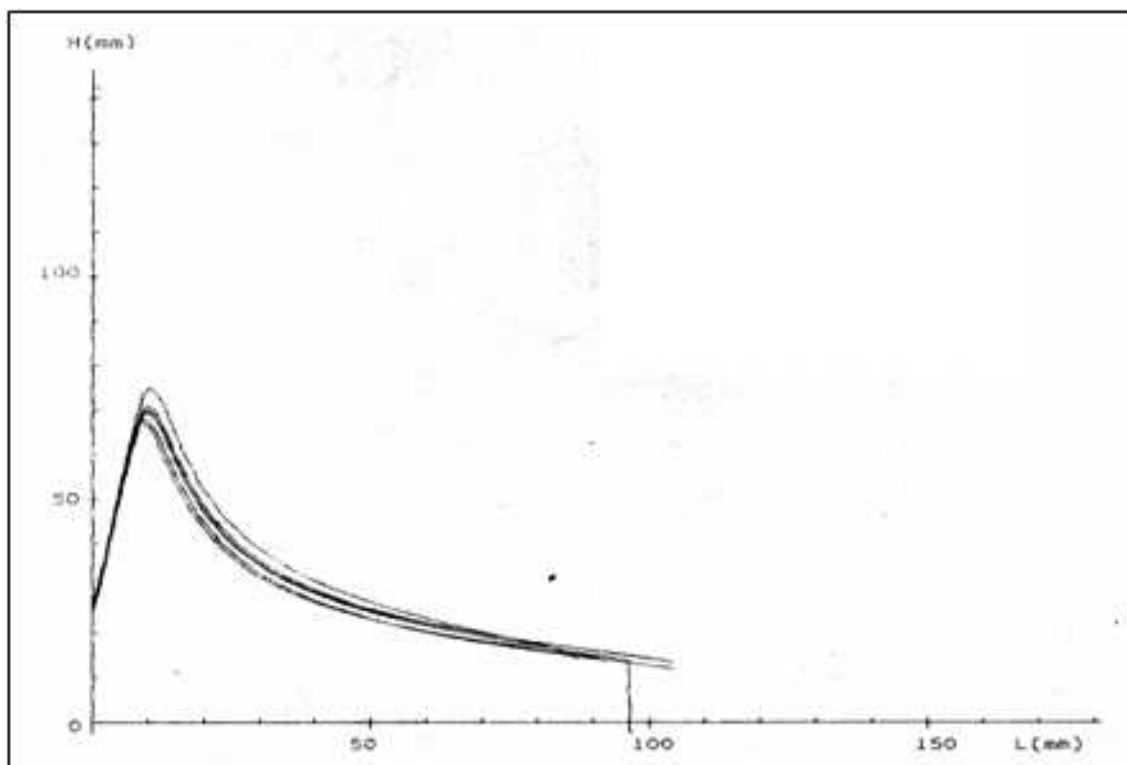


2/ Courbes représentatives de l'évolution du rendement et de la production du blé et du blé tendre (1980 à 2010)

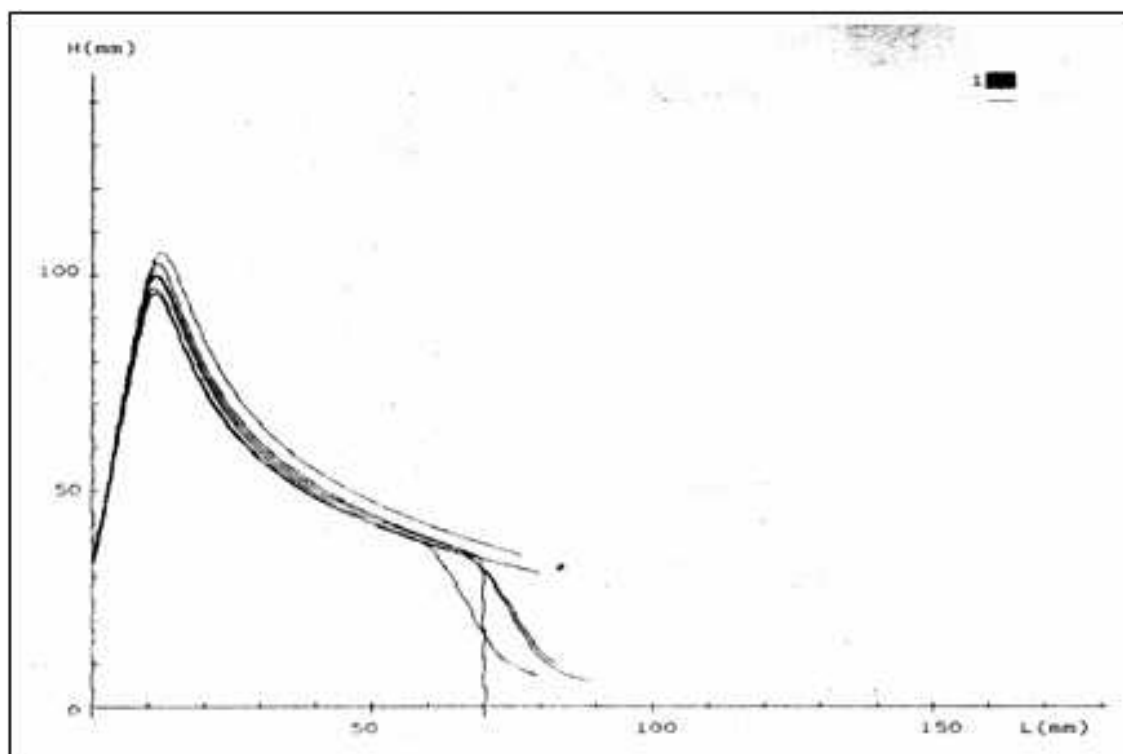




## ANNEXE 2 EXEMPLE D'ALVEOGRAMMES



*Alvéogramme du génotype ATRIS-1 (Oued-Smar)*



*Alvéogramme du génotype CROC-1 (Oued-Smar, V13)*

# ANNEXE 3 VALEURS DES DIFFERENTS ESSAIS DE FRACTIONNEMENT SEQUENTIEL DES PROTEINES

Fractions Genotypes	F. Ins. (% des FT)				Glu. Sd. (% des FT)				F. Mon. (% des FT)				GK. (% des FT)				A.G. (% des FT)	Total %	
	Essai 1	Essai 2	Essai 3	Moy.	Essai 1	Essai 2	Essai 3	Moy.	Essai 1	Essai 2	Essai 3	Moy.	Essai 1	Essai 2	Essai 3	Moy.			
E.P.Kroub	AINABD (Kroub)	33,11	33,34	34,43	33,62	13,73	12,54		13,13	48,07	48,97	48,11	48,38	27,97	28,73		28,35	20,04	<b>95,14</b>
	ARZ	28,84	29,27		29,05	13,44	12,63		13,04	59,14	61,51		60,33	35,24	36,18		35,71	24,62	<b>102,42</b>
	HAMMAM4 (Kroub)	29,94	30,14	29,22	29,77	11,01	10,31		10,66	59,94	59,40		59,67	37,17	37,01		37,09	22,58	<b>100,10</b>
	ATTILA*	35,07	33,57		34,32	13,49	11,86		12,67	51,06	52,11		51,58	28,88	29,73		29,31	22,28	<b>96,57</b>
	PRL/2*(Kroub, W)	34,74	33,48		34,11	20,81	18,44		19,62	45,84	43,69		44,76	27,25	28,09		27,67	17,09	<b>96,49</b>
	VIV00/91	36,19	34,78		35,49	15,08	14,12		14,60	54,17	52,79		53,48	31,63	30,50		31,07	22,41	<b>103,57</b>
	SERILB*2/3	37,28	36,54	37,67	37,16	15,88	16,41		16,14	47,10	47,22	47,73	47,35	27,76	27,76		27,76	19,59	<b>100,66</b>
	KAUZ'S/SHUHA-15	33,27	32,67	32,84	32,92	17,91	17,51	18,67	18,03	50,87	51,22	51,73	51,27	28,14	31,06		29,60	21,67	<b>102,23</b>
	Bohth4	30,71	29,69	29,47	29,96	15,74	16,03	17,08	16,28	52,85	52,60	52,74	52,73	32,82	30,47	31,14	31,48	21,25	<b>98,97</b>
	BACANORA	34,40	33,93	33,05	33,79	17,53	16,52	17,09	17,05	50,77	50,31	48,55	49,88	27,10	27,44		27,27	22,61	<b>100,72</b>
	Cham-6 (W16)	30,72	32,03	30,22	30,99	12,40	12,55	12,08	12,34	55,40	54,22	54,00	54,54	34,94	33,59		34,26	20,28	<b>97,87</b>
	Cham-6 (W18)	36,75	36,88		36,82	11,86	11,93		11,89	55,21	52,65		53,93	29,90	29,14		29,52	24,41	<b>102,64</b>
	ATTILA	38,10	37,56		37,83	15,55	15,11		15,33	47,52	49,64		48,58	27,78	28,96		28,37	20,21	<b>101,74</b>
	PRL/2*(Kroub, W2)	36,78	35,73		36,25	13,72	14,01		13,86	45,71	45,44		45,58	26,07	26,26		26,17	19,41	<b>95,69</b>
	HUMBARA-21	35,80	36,34		36,07	14,06	15,25		14,66	48,45	47,38		47,91	28,50	27,71		28,10	19,81	<b>96,64</b>
	KATLA	33,30	32,84		33,07	10,00	9,61		9,80	60,64	57,95		59,30	37,02	34,08		35,55	23,75	<b>102,17</b>
	SHUHA-7	35,66	35,11		35,39	15,95	16,18		16,06	51,88	52,60		52,24	30,23	29,80		30,01	22,23	<b>103,69</b>
	KAUZ'S/PRDW	32,38	32,38		32,38	11,53	12,22		11,88	59,26	58,87		59,06	33,33	32,15		32,74	26,32	<b>103,32</b>
	RABIEQ*	28,21	28,24	27,61	28,02	12,26	12,98	11,27	12,17	57,77	57,44	57,28	57,50	37,95	36,51	35,08	36,51	20,99	<b>97,69</b>
	AMELQ*	29,81	29,81		29,81	12,88	12,51	12,42	12,61	58,63	57,31		57,97	44,72	42,46	42,01	43,06	14,91	<b>100,39</b>
ATRE-1	28,19	27,93	28,01	28,04	12,79	12,55	12,14	12,49	58,45	58,15	57,56	58,06	39,74	38,31	40,62	39,56	18,50	<b>96,59</b>	
EL1B3	32,65	32,99		32,82	13,68	13,30		13,49	53,33	52,99		53,16	34,36	36,92		35,64	17,52	<b>99,47</b>	
ACSAD520	27,63	28,66		28,15	11,22	11,85		11,53	62,77	61,99		62,38	35,31	33,26		34,29	28,09	<b>102,06</b>	
ASFOOR3	28,18	26,83		27,51	16,40	18,73		17,56	53,00	55,25		54,12	32,70	34,22		33,46	20,66	<b>99,19</b>	
HUD-2	27,77	28,38		28,08	9,06	9,31		9,18	62,94	63,31		63,12	34,42	33,51		33,96	29,16	<b>100,38</b>	
HIDHAB (T)	30,88	29,90		30,39	14,78	15,42		15,10	52,34	53,26		52,80	32,14	30,94		31,54	21,26	<b>98,29</b>	
KB4 60	33,55	32,93		33,24	10,53	13,03		11,78	53,57	53,73		53,65	27,86	26,19		27,03	26,63	<b>98,68</b>	
PRL2*	34,10	35,74		34,92	13,30	13,39		13,34	48,85	50,39		49,62	31,97	28,52		30,25	19,38	<b>97,88</b>	
CROC-1	31,63	30,85		31,24	18,78	18,60		18,69	48,37	49,92		49,15	32,99	31,66		32,33	16,82	<b>99,08</b>	
HAMMAM4	29,33	30,96		30,15	10,12	8,89		9,51	54,96	56,30		55,63	33,12	31,76		32,44	23,19	<b>95,28</b>	
KAUZ/PASTOR	29,46	32,40		30,93	8,61	8,10		8,35	64,19	66,05		65,12	35,27	34,96		35,12	30,00	<b>104,40</b>	
AINABD (T)	28,89	30,32		29,60	14,20	12,87		13,54	52,22	53,33		52,78	27,38	28,57		27,98	24,80	<b>95,92</b>	
PASTOR	34,44	36,05		35,25	12,11	14,12		13,11	51,35	48,65		50,00	35,39	36,41		35,90	14,10	<b>98,36</b>	