

République Algérienne Démocratique et Populaire

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

وزارة التعليم العالي و البحث العلمي

Ecole Nationale Supérieure d'Agronomie - El Harrach-Alger

المدرسة الوطنية العليا للفلاحة - الحراش - الجزائر

Département de Technologie Alimentaire

Mémoire

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

Option : Alimentaire et nutrition

Thème

Fractionnement, caractérisation électrophorétique et quantification des albumines-globulines, des gliadines et des gluténines solubles de farines de blés tendres Algériens, relation entre la composition protéique et les caractéristiques technologiques.

Présenté par : M^{elle} LAKER Khaoula

Soutenu le : 15 /12 / 2013

Jury:

Président: M^r MEKIMENE L.

Maitre de conférences A (E.N.S.A. El Harrach).

Promoteur : M^r SADOUKI H.

Maitre de conférences A (E.N.S.A. El Harrach).

Examineurs : M^r HAZZIT M.

Maitre de conférences A (E.N.S.A. El Harrach).

M^{me} MANSOURI M.

Maitre assistante (E.N.S.A. El Harrach).

Année universitaire 2013-2014

Remerciements

*En tout premier lieu, je tiens à remercier sincèrement mon promoteur, Monsieur **SADOUKI H.**, maitre de conférences classe A à l'E.N.S.A., qui s'est toujours montré à l'écoute et très disponible tout au long de la réalisation de ce mémoire, ainsi pour l'inspiration, l'aide et le temps qu'il a bien voulu me consacrer et sans qui ce mémoire n'aurait jamais vu le jour.*

*Toute ma gratitude s'adresse à Monsieur **MEKIMENE L.**, maitre de conférences classe A à l'E.N.S.A., pour m'avoir fait l'honneur de présider mon jury.*

*Mes remerciements s'adressent également à Monsieur **HAZZIT M.**, maitre de conférences classe A à l'E.N.S.A., et à Madame **MANSOURI M.**, maitre assistante à l'E.N.S.A., pour avoir bien voulu faire partie de mon jury.*

*Je remercie le personnel du laboratoire de technologie de l'E.N.S.A : **FATMA ZOHRA, MOHAMED, EL-ARBI** sans oublier la secrétaire **FATIMA** et la bibliothécaire **BAYA**.*

Je remercie également tout le personnel du laboratoire de technologie des céréales à l'ITGC d'El-Harrach et de Tiaret. Je ne saurai oublier de remercier le personnel de laboratoire contrôle qualité du moulin « fleur blanche » de BABA ALI.

Enfin, je remercie tous ceux qui, de près ou de loin, ont contribué à la réalisation de ce travail.

Dédicace



Je dédie ce modeste travail :

-  *A celle qui m'a donné la vie, le symbole de tendresse, qui s'est sacrifiée pour mon bonheur et ma réussite, à ma mère...*
-  *A mon père, qui a été mon ombre durant toutes les années des études, et qui a veillé tout au long de ma vie à m'encourager et à me protéger.*

J'espère être à la hauteur de vos attentes, Que dieu vous garde et vous protège.
-  *A mon frère **ROSTOM** et ma sœur **HIND**, en témoignage de l'attachement, de l'amour et de l'affection que je porte pour vous, je vous dédie ce travail avec tous mes vœux de bonheur, santé et de réussite.*
-  *A mon beau frère **IYAD** et ma belle sœur **AMEL**.*
-  *A **Mohamed**, qui m'a soutenu et encouragé à chaque étape, ainsi à toute sa famille.*
-  *A mes adorables neveux et nièces : **ASSIL, FAHD, WISSAL** et **AYA**.*
-  *A toute ma famille, mes grands-mères, mon oncle, mes tantes, cousins et cousines.*
-  *A mes amis : **Doudou, Felfoula, Jiji, Nadirus, Yaya, Ferial** et **Djamila**, avec qui j'ai passé des moments inoubliables.*

Khaoula Bouchra

SOMMAIRE

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

PREMIERE PARTIE: SYNTHESE BIBLIOGRAPHIQUE

| | |
|---|-----------|
| I. LE BLE TENDRE : STRUCTURE, COMPOSITION, UTILISATIONS..... | 3 |
| II. NOTION DE QUALITE TECHNOLOGIQUE DU BLE TENDRE | 4 |
| II.1 Valeur meunière | 4 |
| II.2 Valeur boulangère..... | 4 |
| III. TESTS D'APPRECIATION DE LA QUALITE BOULANGERE..... | 5 |
| III.1 Tests directs | 5 |
| III.2 Tests indirects | 6 |
| IV. CLASSIFICATION ET CARACTERISATION DES PROTEINES DE LA FARINE DU BLE TENDRE | 8 |
| IV.1 Les protéines solubles..... | 10 |
| IV.2 Les protéines de réserve | 10 |
| IV.2.1 Les gliadines | 11 |
| IV.2.2 Les gluténines | 12 |
| V. CONTRIBUTION DES PROTEINES A LA QUALITE TECHNOLOGIQUE DE LA FARINE DU BLE TENDRE..... | 14 |

| | | |
|---|---|----|
| V.1 | Contribution des protéines solubles | 15 |
| V.2 | Contribution des protéines de réserve... .. | 16 |
| V.2.1 | Contribution des gliadines | 17 |
| V.2.2 | Contribution des gluténines | 17 |
| V.3 | Interactions de différentes fractions protéiques | 20 |
| | | |
| VI. | METHODES DE FRACTIONNEMENT DES PROTEINES DE BLE TENDRE | 23 |
| | | |
| VII. | L'ÉLECTROPHORÈSE..... | 26 |
| | | |
| <u>DEUXIEME PARTIE: MATERIEL ET METHODES</u> | | |
| | | |
| I. | MATERIEL VEGETAL..... | 29 |
| | | |
| II. | METHODES ANALYTIQUES..... | 29 |
| II.1 | Traitements préliminaires du blé | 29 |
| II.2 | Mouture des blés | 29 |
| II.3 | La teneur en eau | 31 |
| II.4 | Analyses indirectes d'appréciation de la valeur boulangère | 31 |
| II.4.1 | Tests technologiques | 31 |
| II.4.1.1 | Test de sédimentation en milieu SDS..... | 31 |
| II.4.1.2 | Essai à l'alvéographe CHOPIN | 33 |
| II.4.2 | Analyses biochimiques..... | 37 |
| II.4.2.1 | Teneur en protéines totales..... | 37 |
| II.4.2.2 | Séparation séquentielle et dosage des différentes fractions protéiques sur farine | 37 |
| II.4.2.3 | Fractionnement électrophorétique des protéines..... | 40 |

| | |
|--|----|
| II.4.2.3.1 Electrophorèse en gel de polyacrylamide à pH 3,1 (ACIDE-PAGE)..... | 40 |
| II.4.2.3.2 Electrophorèse des gluténines en présence du sodium dodecyl sulfate (SDS- PAGE)..... | 45 |
| III. ANALYSE STATISTIQUE. | 48 |

TROISIEME PARTIE: RESULTATS ET DISCUSSION

| | |
|--|----|
| I. HUMIDITE..... | 49 |
| I.1 Humidité des grains | 49 |
| I.2 Humidité des farines | 49 |
| II. TESTS TECHNOLOGIQUES..... | 51 |
| II.1 Taux d'extraction | 51 |
| II.2 Test de sédimentation en milieu SDS..... | 53 |
| II.3 Essai à l'alvéographe de Chopin..... | 55 |
| III. TESTS BIOCHIMIQUES..... | 59 |
| III.1 Teneurs en protéines totales | 59 |
| III.2 Teneurs en différentes fractions protéiques..... | 61 |
| III.2.1 Protéines monomériques..... | 61 |
| III.2.2 Gliadines | 61 |
| III.2.3 Albumines-Globulines..... | 61 |
| III.2.4 Gluténines solubles..... | 62 |

| | | |
|---------|---|----|
| III.2.5 | Résidus protéique insoluble (ou protéines insolubles) | 62 |
| III.2.6 | Protéines solubles | 64 |
| III.2.7 | Protéines polymériques..... | 64 |
| III.3 | Les différents ratios protéiques calculés | 64 |
| III.3.1 | Protéines solubles/Protéines polymériques | 64 |
| III.3.2 | Protéines solubles/Protéines insolubles | 65 |
| III.3.3 | Protéines monomériques/Protéines polymériques..... | 65 |
| III.3.4 | Protéines monomériques/Protéines insolubles..... | 65 |
| III.3.5 | Gliadines/ Protéines polymériques | 65 |
| III.3.6 | Gliadines/Protéines insolubles..... | 65 |
| IV. | CORRELATIONS ENTRE LES TESTS D'APPRECIATION DE LA QUALITE EFFECTUES | 68 |
| IV.1 | Corrélations entre les résultats des différents tests technologiques (coefficient de corrélation de PEARSON « r »)..... | 68 |
| IV.2 | Corrélations entre les teneurs en protéines totales et les teneurs en protéines des différentes fractions protéiques (coefficient de corrélation de PEARSON « r » et coefficient de corrélation de rang ou de SPEARMAN « r' »)..... | 71 |
| IV.3 | Corrélations entre les paramètres technologiques et les teneurs en protéines des différentes fractions protéiques et leurs ratios (coefficient de corrélation de PEARSON « r » et coefficient de corrélation de rang ou de SPEARMAN « r' »)..... | 74 |
| IV.3.1 | Relations entre les paramètres technologiques et les teneurs en protéines des différentes fractions protéiques..... | 74 |
| IV.3.2 | Relations entre les paramètres technologiques et les différents ratios protéiques calculés..... | 80 |

| | |
|---|------------|
| V. ELECTROPHORESE..... | 85 |
| V.1 Electrophorèse des gliadines..... | 85 |
| V.2 Electrophorèse des gluténines solubles..... | 88 |
| | |
| CONCLUSION GENERALE..... | 90 |
| | |
| REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES..... | 94 |
| | |
| ANNEXES..... | 111 |

LISTE DES TABLEAUX

| | |
|---|----|
| Tableau 1 : Composition en protéines de la farine d'après OSBORNE (1907) rapporté par MELAS et <i>al.</i> (1993)..... | 8 |
| Tableau 2 : Quelques caractéristiques des gliadines selon ÖRNEBRO et <i>al.</i> , 1999 | 11 |
| Tableau 3 : Quelques caractéristiques des différentes fractions de gliadines selon WIESER (2007)..... | 12 |
| Tableau 4 : Quelques caractéristiques des différentes fractions protéiques des gluténines selon WIESER (2007)..... | 14 |
| Tableau 5 : Liste des génotypes étudiés | 30 |
| Tableau 6 : Humidité des grains et des farines en (%)..... | 50 |
| Tableau 7 : Classement hiérarchique des génotypes étudiés en fonction de leurs taux d'extraction..... | 52 |
| Tableau 8 : Classement hiérarchique des génotypes étudiés en fonction de leur indice de sédimentation SDS (volume de sédimentation en ml)..... | 54 |
| Tableau 9 : Classement hiérarchique des génotypes étudiés en fonction de la force boulangère (W)..... | 57 |
| Tableau 10 : Classement hiérarchique des génotypes étudiés en fonction de leurs teneurs en protéines totales..... | 60 |
| Tableau 11 : Proportion des différentes fractions protéiques des génotypes étudiés (moyenne de trois essais)..... | 63 |
| Tableau 12 : Teneurs en protéines solubles, en protéines polymériques et valeurs des différents ratios des fractions protéiques..... | 66 |

| | |
|---|----|
| Tableau 13 : Corrélations entre les paramètres technologiques (coefficient de PEARSON « r »)..... | 70 |
| Tableau 14 : Corrélations entre les teneurs en protéines totales et les différentes fractions protéiques (coefficient de PEARSON « r » et coefficient de SPEARMAN « r' » , n=15)..... | 73 |
| Tableau 15 : Coefficients de corrélations entre les paramètres technologiques et les teneurs en protéines des différentes fractions protéiques (coefficient de corrélation de PEARSON « r » , n=15)..... | 82 |
| Tableau n°16 : Coefficients de corrélations entre les paramètres technologiques et les teneurs en protéines des différentes fractions protéiques (coefficient de corrélation de SPEARMAN « r' » , n=15)..... | 83 |

LISTE DES FIGURES

| | |
|--|----|
| Figure n°1: Classification des protéines du gluten (SHEWRY et <i>al.</i> , 1986)..... | 9 |
| Figure n°2 : Classification des protéines du blé, comparaison des classifications d' OSBORNE (1907) et de SHEWRY et <i>al.</i> (1986)..... | 9 |
| Figure n° 3: Facteurs gouvernants les propriétés rhéologiques de la pâte de la farine du blé. (WIM et DELCOUR , 2002)..... | 22 |
| Figure n°4: Schéma du test de sédimentation en milieu SDS d'après AXFORD et al., (1979)..... | 32 |
| Figure n°5 : Courbes alvéographique du génotype SERI82/SHUHA'S' | 36 |
| Figure n°6 : Procédé de fractionnement séquentiel des protéines par combinaison de la méthode de WANG et KOVACS (1998), LI et al. (2008), DUPONT et al. (2005) avec quelques modifications..... | 39 |
| Figure n°7 : L'extraction des protéines salino-solubles suivant le protocole de FU et SAPIRSTEIN (1996) avec quelques modifications..... | 42 |
| Figure n°8 : L'extraction des gliadines suivant le protocole de KHAN et <i>al.</i> (1985) légèrement modifié..... | 43 |
| Figure n°9 : L'extraction des gliadines et des albumines-globulines suivant le protocole de DUPONT et <i>al.</i> (2005)..... | 44 |
| Figure n°10 : L'extraction des gluténines solubles suivant le protocole de WANG et KOVACS (2002)..... | 47 |
| Figure n° 11 : Electrophorèse des gliadines (A-PAGE) ; gel à 1,5 mm d'épaisseur ; temps de migration 100 minutes à 30mA..... | 87 |
| Figure n° 12 : Electrophorèse des gluténines solubles (SDS-PAGE) ; gel à 15% d'acrylamide à 1,5 mm d'épaisseur ; temps de migration 5 heures 30 minutes à 30mA..... | 89 |

LISTE DES ANNEXES

Annexe 1: Exemple d'alvéogrammes111

Annexe 2: Valeurs des différents essais de fractionnement séquentiel des protéines.....112

LISTE DES ABREVIATIONS

A.G. : Albumines et Globulines.

AACC: American Association of Cereal Chemists.

AC-NH₄ 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: Culot.

cm: centimètre.

C.N.E.R.N.A. : Centre National des Etudes et Recherches sur la Nutrition et l'Alimentation.

DTT: Dithiothreitol.

EDTA : Ethylène Diamine Tétracétique.

FAO: Food and Agriculture Organization.

g : gramme.

Gli. : Gliadine.

Gln : Glutamine.

Glu. Sol. : Gluténines Solubles.

Gly: Glycine.

HRS: Hard Red Spring.

HRW: Hard Red Winter.

I.S.O.: International Standardisation Organization.

I.T.G.C. : Institut Technique des Grandes Cultures.

Kg: Kilogramme.

M: Molaire.

mA : Milliampère.

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

min : Minute.

ml : Millilitre.

MS : Matière Sèche.

NA : Norme Algérienne.

NaCl: Chlorure de sodium.

NaI : iodure de sodium.

nm : Nanomètre.

P : Précipité.

P. Ins. : Protéines Insolubles.

P. Mon. : Protéines Monomériques.

P. Poly.: Protéines Polymériques.

P.Sol. : Protéines Solubles.

P.T. : Protéines Totales.

pd : Pendant.

pH : Potentiel d'hydrogène.

Phe : Phénylalanine.

pHi : point isoélectrique.

Pro: Proline.

r: Coefficient de corrélation linéaire.

r': Coefficient de corrélation de rang ou de Spearman.

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).

SU-FPM : Sous unités à faible poids moléculaire.

SU-HPM : Sous unités à haut poids moléculaire.

TCA : Acide Trichloroacétique.

TEMED : Tétraméthyléthylènediamine.

Tris : Tris hydroxyméthyl aminométhane.

Tyr: Tyrosine.

µl : Microlitre.

INTRODUCTION

INTRODUCTION

Le mode de consommation au quotidien de l'algérien repose essentiellement sur les dérivés de céréales de par leur richesse en éléments nutritifs indispensables (glucides, protéines...) ; mais ce sont surtout les produits issus des blés tendres et des blés durs qui sont les plus consommées.

Certes le rendement moyen national du blé s'est élevé de 10,71 à 18,64 quintaux à l'hectare pendant la période [1999-2009] selon les données statistiques du **M.A.D.R.**, mais il n'en demeure pas moins que cela reste très insuffisant par rapport aux besoins de consommation nationale et par conséquent l'écart entre la production et les besoins de consommation s'est toujours vu comblé en faisant appel aux importations dont la moyenne a été estimée à 53,2 millions de quintaux pour la période [1999-2009] (**FAO, 2009**).

Conscient de ce problème, des programmes de sélection de variétés à haut rendement ont été lancés depuis plusieurs années mais la sélection de variétés sur le seul critère « rendement » peut aboutir à la sélection de variétés impanifiables de part la relation inverse rendement/qualité maintes fois démontré.

Notre pays devra donc produire un blé à haut rendement et de bonne qualité en vue de satisfaire les besoins sans cesse croissant et répondre aux exigences des consommateurs qui sont de plus en plus exigeants pour ce qui est de la qualité des produits, mais cela ne pourrait être possible que par la connaissance approfondie des facteurs qui déterminent cette qualité.

Pour se faire, de nombreux travaux ont été menés par les chimistes céréaliers en vue de déterminer les composants biochimiques dont les variations en quantité et en qualité expliquent les variations de la qualité boulangère ; actuellement il est admis que cette qualité dépend essentiellement des teneurs en certaines fractions protéiques notamment les protéines de réserve (gliadines et gluténines) et leur composition.

C'est dans ce cadre que s'intègre ce travail qui a pour objectif le fractionnement et la quantification de différentes fractions protéiques (albumines-globulines, gliadines, gluténines solubles, protéines monomériques, protéines insolubles) et la recherche de la contribution de chaque fraction à la qualité boulangère des farines de blé tendre. La caractérisation électrophorétique de quelques fractions protéiques extraites par des méthodes récentes de fractionnement séquentiel nous permettra de déterminer la pureté de ces fractions et le degré de contamination possible d'une fraction protéique donnée par d'autres types protéiques et en déduire les chevauchements possibles des groupes de solubilité.

❖ Ce travail s'articule autour de quatre parties :

- La première partie sera consacrée à une synthèse bibliographique, cette partie présentera les différentes fractions protéiques et leur contribution à la qualité boulangère ainsi que les différentes méthodes et techniques de séparation des protéines mises au point au fil des années.
- La seconde partie présentera le matériel et les méthodes utilisées.
- La troisième partie se rapporte à l'analyse et l'interprétation des résultats obtenus.
- Enfin la quatrième partie sera réservée à une conclusion générale qui synthétisera les principales conclusions obtenues au niveau de chaque partie de cette étude.

SYNTHESE BIBLIOGRAPHIQUE

II. LE BLE TENDRE : STRUCTURE, COMPOSITION, UTILISATIONS

Le blé tendre est allohexaploïde, il est constitué de trois génomes diploïdes différents mais étroitement liés AA, BB, DD possédant chacun sept paires de chromosomes (**PAYNE** et *al.*, 1984).

Le grain de blé est constitué de 3 grandes parties : le germe, l'albumen et les enveloppes. Il est constitué majoritairement d'amidon qui représente environ 70% de la matière sèche du grain et qui est situé dans l'albumen. Les protéines représentent entre 10 et 15% de la matière sèche et se retrouvent dans tous les tissus du grain de blé avec une concentration plus importante dans le germe et la couche à aleurone (**POMERANZ**, 1988). Les pentosanes représentent quant à eux entre 8 et 10% de la matière sèche.

➤ La mouture

Les objectifs de la mouture sont de séparer au mieux l'amande de l'enveloppe et du germe du blé pour réaliser le meilleur rendement en farine pour un type de farine déterminé et de réduire les fragments d'amande en éléments suffisamment fins pour obtenir de la farine.

Il existe plusieurs types de farines (farine blanche courante, farine bise, farine complète...) dont chaque type est destiné à un produit fini bien spécifique. (**FEILLET**, 2000). En panification le taux d'extraction préconisé est de 70 à 75%.

III. NOTION DE QUALITE TECHNOLOGIQUE DU BLE TENDRE

Selon **GAUTIER** (1983) la notion de qualité des blés est assez imprécise et recouvre plusieurs aspects (agronomique, technologique, nutritionnel, sanitaire...).

La qualité technologique du blé tendre à laquelle nous nous intéressons correspond en premier lieu à son aptitude à être transformé en farine (valeur meunière) qui elle même sera valorisée en panification, biscuiterie, pâtisserie... On parle alors de valeur boulangère, de valeur biscuitière, de valeur pâtissière...

II.1 Valeur meunière

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. Elle est liée au rendement possible d'un blé en farine et à la facilité de séparation de l'amande farineuse des enveloppes qui la recouvre.

La valeur meunière d'un blé est son aptitude à donner une quantité plus au moins grande de farine répondant à des caractéristiques définies.

II.2 Valeur boulangère

La valeur boulangère représente les aptitudes d'un blé ou d'une farine à donner du bon et du beau pain. (**CALVEL**, 1973).

CASTILLE et **VANDAM** (1985) définissent une bonne valeur boulangère comme étant la possibilité pour une farine de fournir une pâte qui se laisse travailler normalement, fermentant bien, possédant une capacité d'absorption d'eau suffisante et qui, après cuisson, donne un pain de bon volume, à belle croûte, à bonne structure de mie, et à saveur et odeur agréables.

La qualité boulangère est sous la dépendance de deux groupes de facteurs : la force qui résulte des propriétés physiques de la pâte et des qualités fermentatives (richesse en sucre et équilibre enzymatique de la farine).

IV. TESTS D'APPRECIATION DE LA QUALITE BOULANGERE

III.1 Tests directs

Les tests directs représentés par les essais de panification supposent la mise en œuvre d'un protocole normalisé d'un test de fabrication à échelle réduite. En France, celle-ci est appréciée pour le pain courant français par la méthodologie de type CNERNA et la méthodologie BIPEA.

« Il n'existe pas un meilleur moyen d'apprécier la qualité d'un lot de blé ou d'une farine que de le soumettre à une transformation identique à celle pour laquelle il est destiné » **FEILLET** (1980).

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

Un essai de panification permet d'apprécier l'aptitude d'une farine à sa transformation en pain de bonne qualité. Il s'appuie sur une procédure de panification soigneusement standardisée et sur une grille de notation de l'évolution des propriétés de la pâte au cours du pétrissage, du façonnage, de l'apprêt et de la mise au four, puis de la qualité de la mie et de la croûte (**FEILLET**, 2000).

Pour **MENKOVSKA** et *al.* (2002), la valeur boulangère appréciée par des tests directs tient compte de :

- La qualité de la pâte: qui recouvre plusieurs aspects tels que le rendement en pâte, la tolérance au pétrissage, la machinabilité de la pâte et l'activité fermentative.
- La qualité du pain; il s'agit de la qualité de la mie du pain (couleur, odeur, texture) et de l'aspect extérieur de ce dernier (volume approprié, forme régulière et couleur de la croûte).

Cependant, ces essais longs et coûteux nécessitant en général des quantités de grains importantes ne seront pas toujours applicables pour les lignées en cours de sélection, ceci conduit donc à l'utilisation de tests indirects d'appréciation de la qualité boulangère.

III.2 Tests indirects

Leurs avantages par rapport aux tests directs résident surtout au niveau de leurs rapidités, leurs faibles coûts et la facilité de leurs mises en œuvre.

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

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

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

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

D'après **MARTINANT** et *al.* (1998) le mixographe s'est avéré être un outil puissant pour examiner les indices de la qualité boulangère.

Le test du farinographe n'est pas appliqué en sélection, il est par contre très utilisé dans les industries de cuisson et les laboratoires de technologie notamment pour déterminer la capacité d'hydratation des pâtes.

L'alvéographe Chopin est un appareil qui permet de mesurer l'élasticité du gluten contenu dans la farine et de déterminer la "force boulangère" de cette dernière. L'intérêt de cette mesure réside dans la similitude des déformations observées avec celles qui s'exercent au cours de la formation et de l'expansion des alvéoles de gaz au sein de la pâte pendant la fermentation sous la pression du gaz carbonique et la cuisson (**FEUILLET**, 2000).

Les paramètres dérivant de ce test simulent le comportement de la pâte durant la fermentation ; les paramètres les plus importants obtenues à partir d'un alvéogramme sont : la ténacité P de la pâte (la résistance de la pâte à la déformation) ; l'extensibilité de la pâte L, le ratio P/L (donne une indication générale des propriétés viscoélastiques de la pâte) et l'énergie de déformation W, qui est proportionnelle à l'énergie nécessaire à la déformation (**LEON** et *al.*, 2010).

L'extensigraphe mesure la résistance d'une pâte à l'étirement et permet d'apprécier l'extensibilité de celle-ci (**KLEIJER**, 2002).

ZELNY(1947) a mis au point le test de sédimentation ZELNY qui mesure l'aptitude des protéines à gonfler en milieu acide lactique.

AXFORD et *al.*(1978) ont mis au point le test de sédimentation SDS qui est basé sur le gonflement des protéines de la farine dans une solution acide lactique-SDS.

Le test de la capacité de rétention de solvant (**Solvent Retention Capacity ou SRC**) mis au point par **SLADE** et **LEVINE**, 1994, puis modifié par **GAINES** (2000), a été adopté par l'AACC International (2000) approved method 56-11. Ce test est aussi utilisé comme test de prédiction de la qualité technologique de la farine de blé tendre.

WANG et **KOVACS** (2002 a, b) ont mis au point un nouveau test de type sélection appelé SIG (Swelling Index of Gluténin) ou index de gonflement des gluténines pour l'appréciation de la qualité boulangère des farines.

La majorité des tests d'appréciation de la qualité technologique de la farine de blé tendre sont influencées par la qualité et de la quantité des protéines, il est donc intéressant de rappeler la classification, les caractéristiques et la contribution des fractions protéiques à la qualité boulangère.

V. CLASSIFICATION ET CARACTERISTIQUES DES PROTEINES DE LA FARINE DU BLE TENDRE

Les protéines forment de **8 à 18%** de la matière sèche du blé ; elles sont inégalement réparties entre les différentes couches histologiques du grain. (**FEILLET**, 2000).

en 1907, **Osborne** a développé une première classification des protéines du blé basée sur leurs solubilités :

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

Tableau n°1: Composition en protéines de la farine d'après **OSBORNE** (1907) rapporté par **MELAS** et *al.* (1993).

| 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 |
| Glutélines | Acides, bases, réducteurs, détergents | 100.000 à plusieurs millions | 40 à 50 | |

Par la suite, une autre classification basée sur les caractéristiques moléculaires des protéines de réserve du blé, notamment leur capacité de polymérisation et leur composition en acides aminés a été proposée (**SHEWRY** et *al.*, 1986). Les protéines sont classées en deux groupes principaux : les gliadines monomériques et les gluténines polymériques, puis en trois sous groupes en fonction de leur teneur en soufre. (Figure n°1).

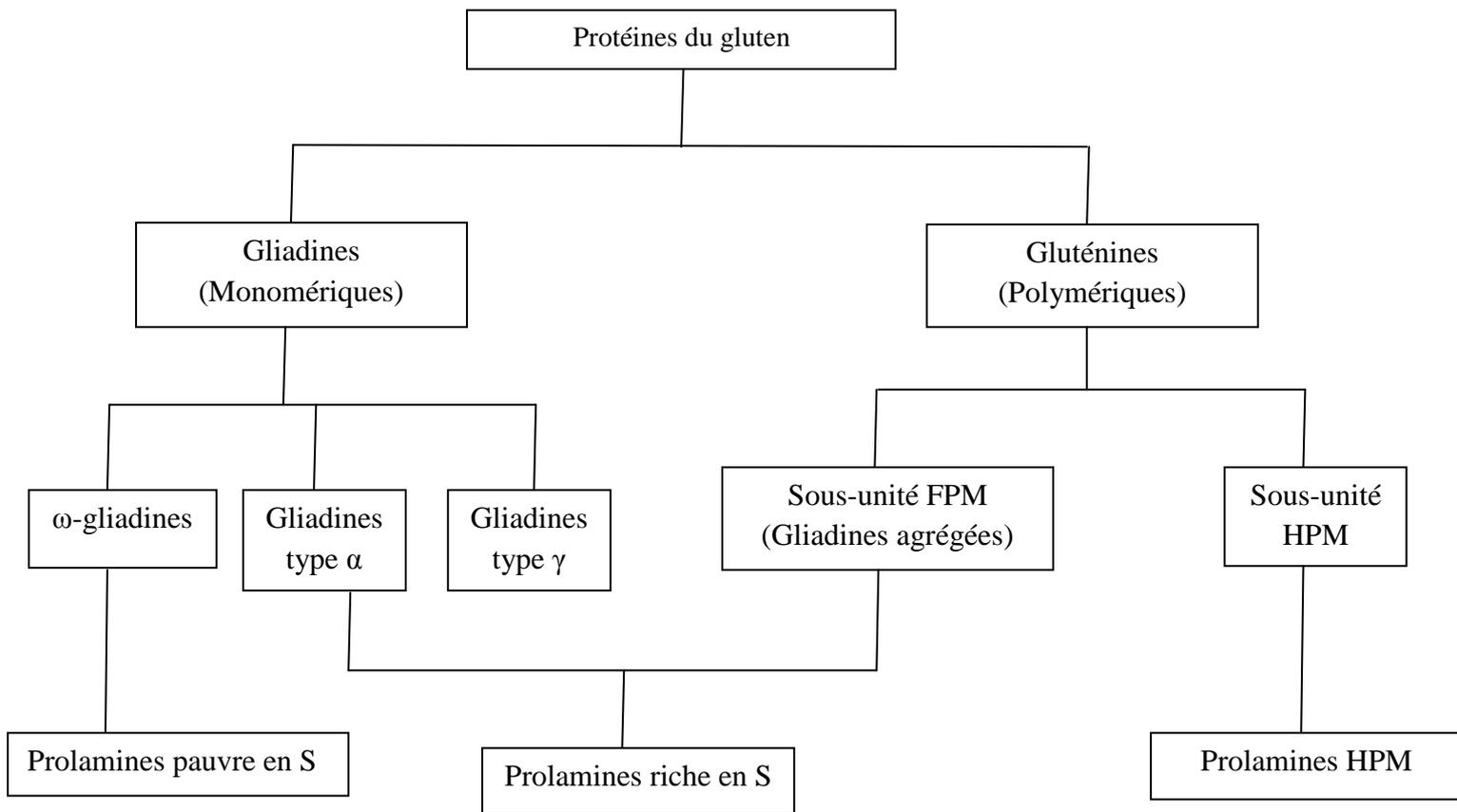


Figure n°1: Classification des protéines du gluten (SHEWRY et *al.*, 1986).

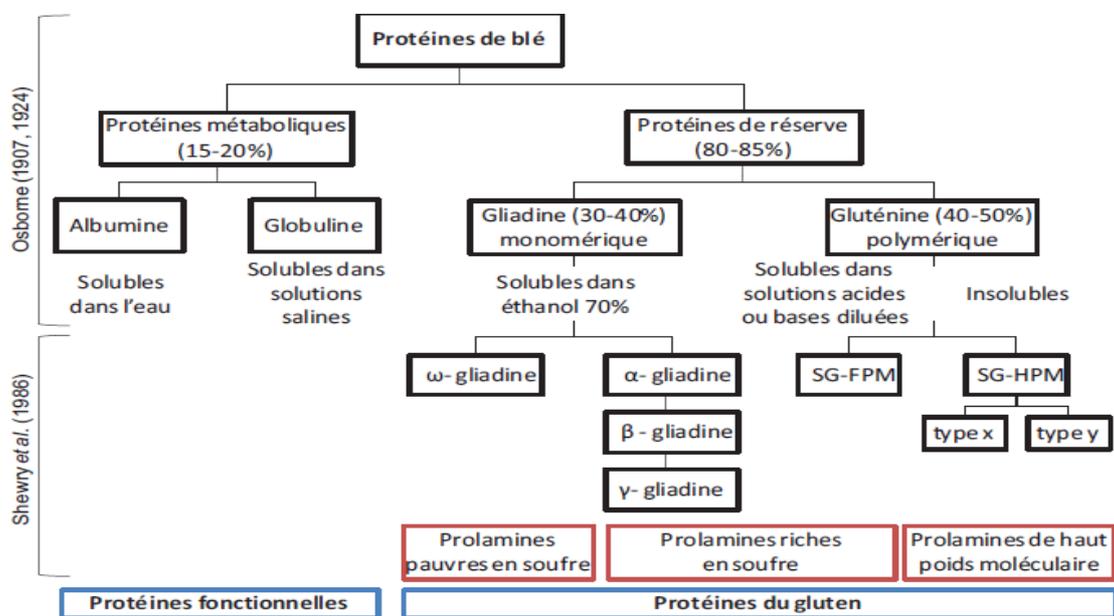


Figure n°2 : Classification des protéines du blé, comparaison des classifications d'OSBORNE (1907) et de SHEWRY et *al.* (1986).

IV.1 Les protéines solubles

Les albumines, solubles dans l'eau et les globulines, solubles dans des solutions salines diluées, souvent regroupées sous le terme de protéines solubles ou d'albumines/globuline, représentent entre 15 à 20% des protéines totales de la farine (**POPINEAU**, 1985).

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

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

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

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

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

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

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

IV.2 Les protéines de réserve

Les gliadines et gluténines, principaux composants du gluten, constituent « les protéines de réserve » de l'albumen : les premières confèrent à la pâte sa viscosité et son extensibilité ; les secondes sa tenacité et son élasticité.

Le gluten consiste en des protéines qui restent après élimination de l'amidon et des composants hydrosolubles, c'est un complexe protéique viscoélastique responsable des propriétés physiques de la pâte (**Wang et al.**, 2006)

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

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

IV.2.1 Les gliadines

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

Les gliadines sont constituées d'un grand nombre de polypeptides répartis en quatre groupes α -, β -, γ -et ω -en fonction de leur mobilité décroissante, lors d'un fractionnement sur gel d'électrophorèse en milieu acide, et par ordre croissant de poids moléculaire (**WOYCHIK** et *al.*, 1961). Les α -, β - et γ gliadines présentent un poids moléculaire de l'ordre de 30.000-45.000 avec des pHi compris entre 6,5 et 8, tandis que les ω -gliadines se distinguent par un poids moléculaire plus élevé, allant jusqu'à 75.000 et des pHi compris entre 5 et 7 (**FEILLET**, 2000 ; **SHEWRY** et **HALFORD**, 2002).

ÖRNEBRO et *al.* (1999) ont mentionné quelques caractéristiques des différentes fractions de gliadines. (Tableau n°2).

Tableau n°2 : Quelques caractéristiques des gliadines selon **ÖRNEBRO** et *al.*, 1999.

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

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

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

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

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

WIESER (2007) a groupé les gliadines sur la base de l'analyse complète ou partielle de la séquence en acides aminés, la composition en acides aminés et le poids moléculaires en quatre types différents : ω 5, ω 1, 2, α/β et γ -gliadines. Les ω -gliadines sont caractérisées par la plus haute teneur en glutamine, proline et phénylalanine, qui représentent ensemble près de 80% de la composition totale. Les ω 5-gliadines ont un poids moléculaire plus élevés ($\approx 50,000$) que les ω 1, 2-gliadines ($\approx 40,000$). La plupart des ω -gliadines sont pauvres en cystéine, et donc il n'y a pas possibilité de formation de ponts disulfures.

Tableau n°3 : Quelques caractéristiques des différentes fractions de gliadines selon WIESER (2007).

| type | Poids moléculaire ($\times 10^3$) | Proportions (%) ^a | La composition partielle en acide aminé | | | | |
|-------------------------|-------------------------------------|------------------------------|---|-----|-----|-----|-----|
| | | | Gln | Pro | Phe | Tyr | Gly |
| ω 5 gliadine | 49-55 | 3-6 | 56 | 20 | 9 | 1 | 1 |
| ω 1, 2 gliadine | 39-44 | 4-7 | 44 | 26 | 8 | 1 | 1 |
| α/β gliadine | 28-35 | 28-33 | 37 | 16 | 4 | 3 | 2 |
| γ gliadine | 31-35 | 23-31 | 35 | 17 | 5 | 1 | 3 |

a : par rapport au protéines totales du gluten

IV.2.2 Les gluténines

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

Les gluténines représentent 40 à 50 % des protéines totales de la farine (**MELAS** et *al.*, 1993). Elles se présentent sous la forme de polymères dispersés stabilisés par des liaisons disulfures intermoléculaires qui peuvent atteindre des tailles supérieures à 1 million (**WRIGLEY**, 1996).

Les sous-unités de gluténines peuvent être séparées en quatre groupes en fonction de leur poids moléculaire et leur mobilité en SDS-PAGE après réduction des liaisons S-S : le groupe A (95.000-140.000), B (40.000-51.000), C (31.000-36.500) et le groupe D qui consiste en sous unités avec une mobilité entre les groupes A et B (**GIANIBELLI** et *al.*, 2001 ; **FIGUEROA** et *al.*, 2009).

Le groupe A regroupe les SG-HPM tandis que les groupes B, C et D regroupent les SG-FPM. (**FIGUEROA** et *al.*, 2009)

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

Les SG-HPM sont codés par deux gènes 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 (les plus mobiles). (**PAYNE** et *al.*, 1981) avec des poids moléculaires de 83000 à 88000 et 67000 à 74000 respectivement. (**SHEWRY** et *al.*, 1992 ; **WEISER**, 2007).

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

WIESER (2007) a rapporté certaines caractéristiques des différentes fractions protéiques des gluténines. (Tableau n°4).

Tableau n°4: Quelques caractéristiques des différentes fractions protéiques des gluténines selon **WIESER** (2007).

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

a : par rapport au protéines totales du gluten.

VI. CONTRIBUTION DES PROTEINES A LA QUALITE TECHNOLOGIQUE DE LA FARINE DU BLE TENDRE

La teneur et la qualité des protéines sont des facteurs importants du potentiel boulanger des cultivars de blé (**FINNEY** et **BARMORE**, 1948 cité par **DUPUIS** et al., 1996).

Les protéines de blé sont généralement reconnues comme le facteur le plus important dans la détermination des propriétés viscoélastiques de la pâte de farine de blé tendre et sa qualité boulangère (**MACRITCHIE**, 1992 ; **WEEGELS** et *al.*, 1996 cité par **LI** et *al.*, 2008).

UTHAYAKUMARAN et *al.*(1999) ont montré que le temps de pétrissage, l'extensibilité, la résistance maximale à l'extension et le volume du pain augmentent quand la teneur en protéines totales augmente.

Une teneur élevée en protéines est souvent reliée à une bonne qualité boulangère, cependant la quantité des protéines seule ne peut pas expliquer toutes les variations dans la qualité boulangère ; d'autres facteurs tels que la qualité des protéines sont aussi importants (**JOOD** et *al.*, 2001 cité par **LI** et *al.*, 2008).

Selon **PARK** et *al.*(2006) les protéines sont connues pour être l'unique composant du blé responsable de sa qualité boulangère, ces auteurs ont trouvé que la teneur en protéines de la farine est positivement et hautement corrélées avec le volume du pain.

Pour **WANG** et *al.* (2007) une quantité de protéine élevée dans la farine de blé tendre est nécessaire pour une bonne qualité boulangère, cependant le type de protéine est plus important que sa quantité.

Il existe généralement une relation directe entre la quantité et la qualité des différentes fractions protéiques et les propriétés rhéologiques qui définissent la force boulangère (**SUCHY** et *al.*, 2007).

La teneur en protéines est corrélée significativement au test de sédimentation **ZELNY**, aux paramètres d'absorption d'eau du farinographe, au W alvéographique ainsi qu'au volume du pain (**BOCKSTAELE** et *al.*, 2008).

V.1 Contribution des protéines solubles

Les recherches réalisées concernant l'influence et la contribution des albumines et globulines dans la qualité boulangère sont assez contradictoires.

Pour certains auteurs ces protéines n'ont pas d'effet sur la qualité boulangère. (**ORTH** et **BUSHUK**, 1972 ; **WRIGLEY** et *al.*, 1982 ; **MACRITCHIE** et *al.*,1990 ; **GODON**,1991).

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

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

PENCE et *al.* (1950 ; 1951 ; 1954b) cité par **FEILLET** (1976) notent un effet positif des protéines hydrosolubles sur le volume du pain.

PRESTON et *al.*(1992) trouvent des corrélations positive et significative entre la fraction protéique salino-soluble et l'index de tolérance au pétrissage du farinographe.

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

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

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

V.2 Contribution des protéines de réserve

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

Les gluténines confèrent à la pâte l'élasticité et la résistance à l'extension (**VERBRUGGEN** et **DELCOUR**, 2003), tandis que les gliadines confèrent la viscosité et l'extensibilité (**CIAFFI** et *al.*, 1996).

Les protéines du gluten de blé (gliadines et gluténines) sont responsables des propriétés viscoélastiques de la pâte et de son aptitude à retenir le CO₂ lors de la fermentation (**VERBRUGGEN** et *al.*, 1998).

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

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 nécessaire.

Les propriétés uniques de blé tendre résultent des propriétés biomécaniques exceptionnelles des protéines de gluten, qui forment un réseau conférant l'élasticité et l'extensibilité à la pâte (**LEON** et *al.*, 2010).

V.2.1 Contribution des gliadines

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

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

HUEBNER et *al.* (1999) en étudiant l'effet de l'addition des gliadines aux farines de blé montrent qu'elles affectent positivement les caractéristiques mixographiques ainsi que l'indice de sédimentation SDS et par conséquent la valeur boulangère.

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

PARK et *al.* (2006) ont trouvé que le pourcentage de gliadines dans la farine et par rapport à la teneur en protéines totales est positivement corrélé au volume du pain.

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

V.2.2 Contribution des gluténines

Des études considérables ont été conduites pour montrer la contribution des gluténines dans la qualité boulangère.

L'importance des gluténines en tant que facteur de qualité des protéines dans le potentiel boulangier a été démontrée par **ORTH** et **BUSHUK** (1972) qui ont montré que les gluténines insolubles dans l'acide acétique sont fortement corrélées avec plusieurs paramètres de la qualité boulangère et que le volume du pain était positivement corrélé avec le résidu protéique ou les

gluténines insolubles dans l'acide acétique et négativement corrélé avec les gluténines solubles dans l'acide acétique. Ces résultats sont en accord avec ceux de **POMERANZ** (1965) qui a rapporté plus tôt que les farines de mauvaise qualité avaient une grande proportion de protéine dispersible dans l'urée.

En se basant sur trois processus de fractionnement et des études de reconstitution, **CHAKRABARTY** et **KHAN** (1988 b) trouvent qu'indifféremment du processus de fractionnement, les fractions contenant des quantités élevées en gluténines donnent des volumes de pain élevés.

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

Le type et la quantité de différentes sous unités de gluténines sont importants pour les propriétés de la pâte et les qualités d'utilisation de la farine (**HOU** et *al.*, 1996).

SAPIRSTEIN et **FU** (1998) ont trouvé que les gluténines solubles et insolubles dans le propanol-1 à 50% sont hautement corrélés (positivement et négativement respectivement) aux propriétés physiques de la pâte et au volume du pain.

BEAN et *al.* (1998) ont trouvé de bonnes corrélations entre les paramètres de force de la pâte et la quantité du résidu protéique et la quantité relative du résidu protéique (résidu protéique/protéines totales).

SADOUKI et *al.* (2006) ont montré que les protéines insolubles dans le propanol-2 à 50 % ou leur ratios par rapport aux protéines totales sont bien corrélées avec les paramètres d'appréciation de la force des farines.

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

La composition en sous unités de gluténines HPM affecte les propriétés technologiques des farines à travers la taille moléculaire des gluténines (**DON** et *al.*, 2006)

XIAO et *al.* (2006) trouvent que les protéines polymériques insolubles dans le propanol-1 à 50% étaient positivement corrélées au temps de pétrissage de la pâte au mixographe, et que les protéines polymériques solubles dans le propanol-1 à 50 avaient des corrélations négatives.

La fraction gluténine des protéines de réserve du blé est connue pour être la principale responsable des différences de la qualité boulangère (**UTHAYAKUMARAN** et *al.*, 2006).

PARK et *al.* (2006) ont trouvé des corrélations positives et très significatives entre les protéines polymériques solubles et insolubles (en pourcentage de la farine) et le volume du pain et des relations négatives entre les protéines polymériques insolubles (en pourcentage de protéines) et le volume du pain.

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

SUCHY et *al.* (2007) ont trouvé que la fraction de protéines insolubles dans le propanol-1 à 50 % est fortement et positivement reliée aux temps de pétrissage des mixogrammes, aux temps de pétrissage au farinographe et aux volumes du pain.

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

Selon **CINCO-MOROYOQUI** et *al.* (2008), les gluténines de la farine de blé tendre sont les composants qui déterminent la force et l'élasticité de la pâte. Il est bien établi que les différences dans les gluténines sont le principal facteur responsable des variations de la qualité d'utilisation.

LI et *al.* (2008) trouvent que le temps de développement au mixographe, la résistance à l'extension de l'extensigraphe, augmentent quand les gluténines insolubles, les gluténines solubles et les macro-polymères de gluténines sont additionnés à la farine, et augmentent systématiquement avec l'augmentation de la teneur en protéines de ces fractions.

Les gluténines de la farine du blé sont les composants qui déterminent la force et l'élasticité de la pâte (**FRANCISCO** et *al.*, 2008).

DOWELL et *al.* (2008) dans leur étude de 48 blés HRW et 49 blés HRS ont trouvé des corrélations positives et élevées entre les teneurs en gluténines solubles et en gluténines insolubles et le volume du pain.

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

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

V.3 Interactions de différentes fractions protéiques

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

En plus de la composition des SG-HPM, le ratio SG-HPM/ SG-FPM apparait être un facteur important dans la qualité boulangère (**DUPUIS** et *al.*, 1996).

Le rapport de protéines monomériques (gliadines) et polymériques (gluténines) contribue essentiellement dans les propriétés de la farine (**WIESER**, 2000).

Selon **FEILLET**(2000) l'importance relative de certaines protéines du gluten (gliadines, gluténines, SG-HPM, SG-FPM) est en relation avec le comportement des farines en panification. Ainsi les farines sont d'autant plus fortes que le rapport gluténines / gliadines ou son équivalent protéines polymériques / protéines monomériques est élevé.

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

WIM et **DELCOUR** (2002) ont proposé un schéma qui résume le rôle des différentes fractions du gluten et leurs interactions dans la détermination des propriétés rhéologiques de la pâte de la farine du blé. (Figure n°3).

Pour **SADOUKI** et *al.* (2006) le ratio des protéines insolubles dans le propanol-2 à 50 % par rapport aux protéines totales n'est pas associé à la teneur en protéine de l'échantillon, pour cela sa détermination peut constituer un bon critère d'appréciation de la force intrinsèque des blés dans les programmes de sélection.

PENA et *al.* (2005) trouvent des corrélations négatives entre la force W et les ratios gliadines/gluténines, cependant, cette force est positivement corrélée avec le ratio SG-HPM type x /SG-HPM type y. Ainsi, pour une quantité fixe de SG-HPM, une augmentation de la quantité de gliadines conduit à une diminution de la force W des pâtes.

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

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

Le ratio SG-HPM/SG-FPM peut être utilisé comme un outil d'évaluation de la qualité (**FRANCISCO** et *al.*, 2008).

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

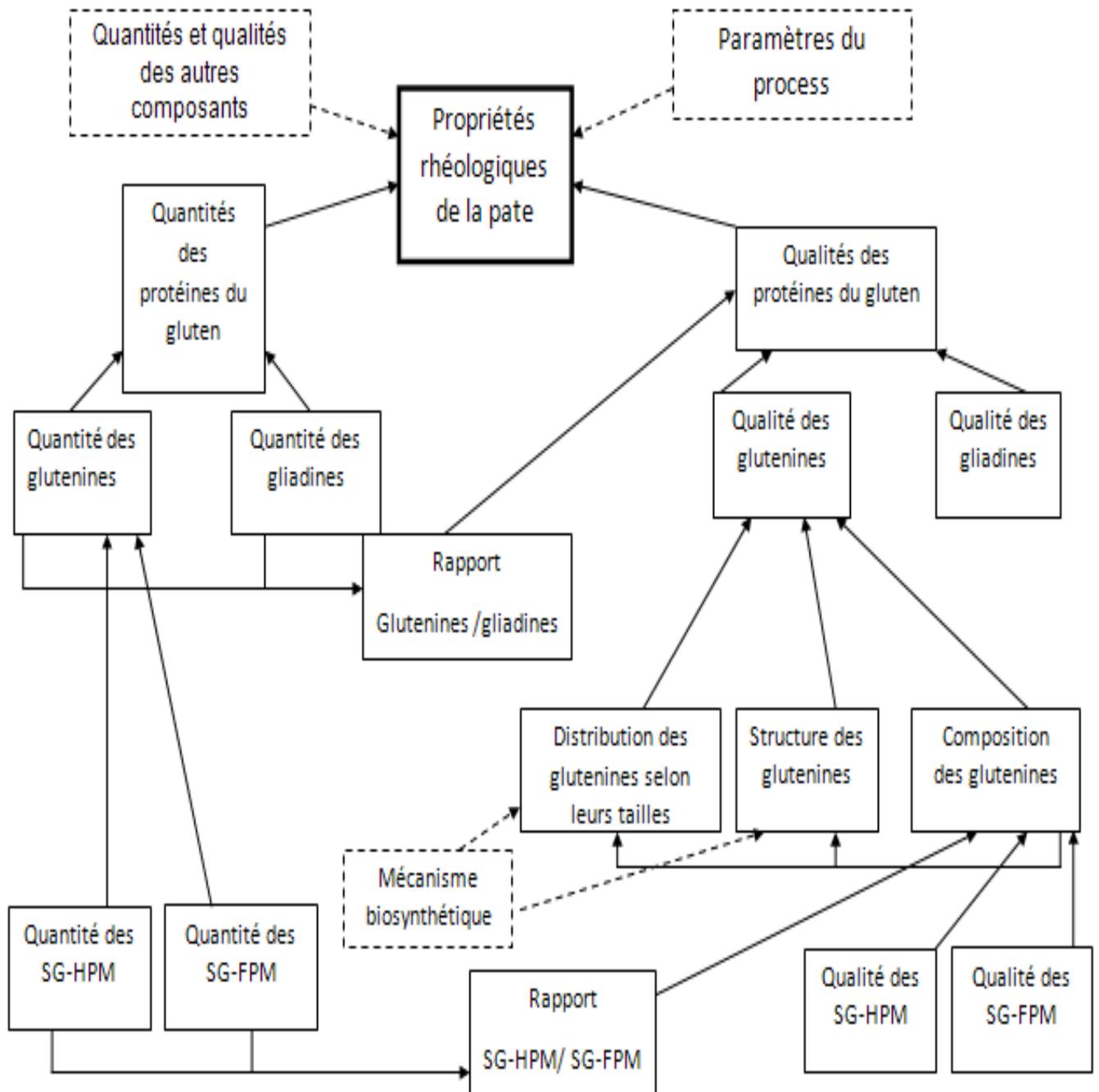


Figure n° 3: Facteurs gouvernant les propriétés rhéologiques de la pâte de la farine de blé.
(WIM et DELCOUR, 2002).

VII. METHODES DE FRACTIONNEMENT DES PROTEINES DE BLE TENDRE

Pour une détermination précise de la composition protéique de la farine, il est souhaitable de séparer et quantifier les protéines par type. Idéalement, le procédé 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 la complexité des protéines de la farine 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 a été le premier à introduire la classification des protéines de céréales basé sur leurs solubilités. Plus tard, beaucoup de procédé de fractionnement ont été développés avec divers solvant.

Pour les albumines et les globulines ou protéines salino-solubles, leur extraction se fait généralement par des solutions de NaCl tamponnées ou non (**OSBORNE**, 1907 ; **FEILLET**, 1965 ; **GAUTIER**, 1983 ; **FU** et **SAPIRSTEIN**, 1996 ; **WIESER**, 2000...).

La solubilisation et l'extraction des gliadines se fait généralement par les alcools aqueux alors que l'extraction ou la solubilisation des gluténines se fait par un certain nombres de solvants (solvants à base d'alcools, solutions de détergents tel que le SDS, solutions d'acide dilués ou solution d'urée) en présence d'un réducteur des ponts disulfures tel que le mercapto-2 éthanol ou le dithiothritol. Une partie des gluténines dites gluténines solubles est solubilisée par ces solvants sans réducteurs.

BEAN et *al.* (1998) ont testé la capacité de trois alcools (méthanol, éthanol et propanol-1) à différentes concentrations à pouvoir extraire les protéines monomériques et polymériques, l'extraction maximale de ces deux classes protéiques majeures de la farine a été observé lors de l'utilisation du propanol-1 à une concentration allant de 30 à 50%.

FU et **SAPIRSTEIN** (1996) ; **SAPIRSTEIN** et **FU** (1998) ont utilisé le propanol-1 à 50% pour extraire toutes les protéines monomériques mais ce solvant extrait également quelques gluténines. Afin de séparer les gluténines solubles des gliadines, **FU** et **SAPIRSTEIN** (1996) précipitent ces gluténines en augmentant la concentration du propanol-1 à 70% mais cela

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

FU et KOVACS (1999) ont testé d'abord plusieurs concentrations de NaI (de 0.25 à 2M) puis plusieurs concentrations de propanol-1 (de 5 à 50%) et enfin plusieurs combinaisons entre NaI et propanol-1, et ont trouvé que la solution composée de 0.3 M NaI et 7.5% propanol-1 permet d'extraire la totalité des protéines monomériques y compris les ω -gliadines débarrassées de gluténines. Ce procédé simple et rapide permet une séparation complète en une seule étape.

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

WANG et KOVACS (2002 a) ont utilisé la méthode de FU et KOVACS (1999) afin d'éliminer les protéines monomériques, puis ont utilisé le propanol-1 à 40% pour extraire les gluténines solubles et enfin le propanol-1 à 40% plus 0.2% de Dithiothreitol (DTT) à 60°C pour extraire les gluténines insolubles.

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

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

VERBRUGGEN et *al.* (1998) ont optimisé les conditions de température afin d'obtenir des sous unités gluténines d'une grande pureté. D'abord le propanol-1 est utilisé pour extraire les gliadines à température ambiante; puis les gluténines présentes dans le culot ont été solubilisées à 60°C avec le même solvant 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.

Ces mêmes auteurs en comparant leur procédé à celui de **MELAS** et *al.* (1994) ont trouvé que l'acétone à 40% précipite plus de SG-HPM que le propanol-1 à 60%.

SUCHY et *al.* (2003) ont utilisé la solution 0,3M NaI-7,5% propanol-1 pour extraire les protéines monomériques, le propanol-1 à 50% pour extraire les gluténines solubles et le propanol-1 à 50%+0,2% de DTT pour extraire les gluténines insolubles.

Selon **DUPONT** et *al.* (2005), la meilleure séparation et récupération des fractions protéiques (albumines-globulines, gliadines et les fractions gluténines) à partir du même échantillon de farine est réalisé par l'extraction avec une solution contenant 0.3M NaI+ propanol-1 à 7.5% suivi par une solution de SDS à 2% contenant 25mM DTT dans 25mM TRIS, pH=8, et la précipitation des protéines solubilisées avec une solution d'acétate d'ammonium dans le méthanol à 100% suivi par l'acétone.

ROBERTSON et *al.* (2007) en testant la solubilité des protéines de la farine par l'éthanol à des concentrations allant de 0 à 100% et à des températures allant de -15 à 22°C, trouvent que l'éthanol à 60 % à une température de 22°C extrait le maximum de protéine éthanol soluble et qu'aucune protéine ne reste soluble à une concentration supérieure à 90 %.

WANG et *al.* (2007) ont associé trois méthodes de fractionnement des protéines ; ils ont utilisé le 0.3M NaI + propanol-1 à 7.5% pour séparer les protéines monomériques des protéines polymériques (**FU** et **KOVACS**, 1999), puis ils ont précipité les gliadines du surnageant avec du 0.1M acétate d'ammonium dans 100 % méthanol pendant 48h à froid (-20°C) (**DUPONT** et *al.*, 2005). Les protéines polymériques contenues dans le culot après extraction des protéines monomériques ont été extraite 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.

VII. L'ÉLECTROPHORÈSE

Il est important de disposer de techniques simples, rapides, spécifiques et reproductibles permettant d'élucider le problème de reconnaissance des cultivars et de leur différenciation les uns des autres, d'où les méthodes physico-chimiques de séparation des protéines tels que la chromatographie, ou l'électrophorèse répondent bien à ces impératifs.

Ces deux techniques séparent bien les différentes classes protéiques du blé, dont la synthèse est intimement liée au génome variétal et donc les résultats obtenus seront très spécifiques et hautement discriminatoires.

L'électrophorèse a une utilisation large à des fins analytiques ou préparatives, particulièrement pour l'étude et le fractionnement des protéines et des acides nucléiques.

On doit à cette méthode la découverte, la caractérisation, la purification de nombreux constituants des tissus animaux et végétaux, l'étude des sérums pathologiques, de nouvelles classifications taxonomiques et plus récemment, le contrôle de la composition et de la qualité de nombreux produits alimentaires (**GODON** et **LOISEL**, 1997).

Les analyses électrophorétique des protéines de réserves (gluténines et gliadines) se sont avérées être très utiles pour l'évaluation et la caractérisation de la qualité du blé (**OBREHT** et *al.*, 2005).

Le gel de polyacrylamide résulte de la polymérisation du monomère acrylamide et d'un agent de pointage « cross linking agent », habituellement le NN' méthylène bis acrylamide.

L'électrophorèse en milieu acide (ACIDE-PAGE) est une technique permettant de déplacer des ions (molécules ayant perdu leur neutralité électrique) sous l'effet d'un champ électrique. Ceux-ci migrent vers leur électrode respective : les anions migrent vers l'anode et les cations migrent vers la cathode.

La séparation électrophorétique des gliadines est la technique de laboratoire la plus largement admise pour la différenciation et l'identification des cultivars de blé (**SAPIRSTEIN** et **BUSHUK**, 1985).

L'électrophorèse des gliadines s'est avérée être un moyen très efficace d'identification variétale (**BUSHUK** et **ZILLMAN**, 1978) car elle présente une très grande diversité.

Le développement de la technique d'électrophorèse soit en gel d'amidon (**AUTRAN** et **BOURDET**, 1975) soit en gel de polyacrylamide (**BUSHUK** et **ZILLMAN**, 1978) a permis à ces auteurs de mettre en évidence pour chaque variété plus d'une vingtaine de constituants différents en mobilité électrophorétique. **WRIGLEY** (1976) par électrophorèse bidimensionnelle réussit à séparer les gliadines en plus de 46 composants au sein d'une même variété.

BUSHUK et **ZILLMAN** (1978) mirent au point une méthode sur gel d'acrylamide horizontal, et qui fut remplacée par des séparations avec un équipement vertical. Les proportions relatives des différents produits chimiques utilisés ont été modifiées par plusieurs auteurs dans le but d'améliorer la technique.

BUSHUK et **ZILLMAN** (1978) ; **TKACHUK** et **METLISH** (1980) ; **LOOKHART** et *al.*, 1982 ; **KHAN** et *al.*, 1983 ; 1985) ont testé plusieurs proportions des catalyseurs de polymérisation (acide ascorbique, H_2O_2 , $Fe\ SO_4$, $7H_2O$) afin d'aboutir à une formulation du gel donnant une meilleure résolution de gliadines.

L'électrophorèse des gluténines en présence du sodium dodecyl sulfate (SDS-PAGE) est une technique qui permet de séparer les protéines selon leurs poids moléculaire. La matrice est créée par la polymérisation d'acrylamide et de bis acrylamide. Le TEMED et le persulfate d'ammonium sont les agents de polymérisation. La grosseur des pores formés est fonction de la concentration d'acrylamide.

BIETZ et **WALL** (1972) ont été les premiers auteurs à appliquer cette technique aux protéines du blé et ont montré que la gluténine réduite était constituée d'au moins 15 sous-unités de poids moléculaires différents.

SDS-PAGE est la méthode la plus utilisée pour détecter la composition allélique des cultivars des blés et pour identifier les SG-HPM désirables dans la qualité dans les programmes de sélection basé sur la mobilité relative (**PAYNE** et *al.*, 1979).

Avant la découverte de l'électrophorèse en gel de polyacrylamide en présence de SDS, l'étude électrophorétique des gluténines était très difficile du fait de leur faible solubilité et de leur poids moléculaire élevé.

La SDS- PAGE du fait de sa simplicité et de sa rapidité, et ne nécessitant que des micro-quantités, est la technique la plus utilisée pour déterminer la complexité et les masses moléculaires relatives des constituants polypeptidiques d'un échantillon protéique, mais ceci reste une estimation car les écart entre les masses moléculaires entre SDS-PAGE et les autres méthodes sont parfois importants, en raison de la forme de la protéine analysée, différente de celle des protéines témoins, de sa teneur en proline, ou de la répartition des résidus prolines dans sa séquence (GODON et LOISEL, 1997).

Une méthode d'évaluation décrite par ZILLMAN et BUSHUK (1979a), JONES et *al.*(1982) et WRIGLEY et *al.*(1982) consiste en la mesure des mobilités des bandes protéiques en millimètre près. Les mobilités relatives sont calculées par rapport à une bande de référence du cultivar Marquis pour laquelle une mobilité relative de 50 a été donnée.

MATERIEL

ET METHODES

I. MATERIEL VEGETAL

L'étude a porté sur 11 variétés et 11 lignées de blé tendre représentant 22 échantillons, dont 15 proviennent de la station de l'I.T.G.C d'El Khroub et sont issues de la récolte 2009/2010 à l'exception de la variété Florence aurore qui a été issue de la récolte 2008/2009, et 7 proviennent de la station de l'I.T.G.C de Tiaret et sont issues de la récolte 2011/2012. (Tableau n°5)

II. METHODES ANALYTIQUES

II.1 Traitements préliminaires du blé

Les échantillons sont nettoyés manuellement de leurs impuretés et leur humidité est déterminée sur une prise d'essai de 5 g obtenue par broyage grossier. Pour faciliter la séparation de l'amande farineuse des enveloppes, l'humidité des grains est ramenée à 16,5% par l'ajout d'un certain volume d'eau calculé selon la formule suivante :

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

V : volume d'eau à ajouter (ml).

M : masse du blé (g).

H_f : humidité finale du blé (16,5%).

H_i : humidité initiale du blé.

Le blé est ensuite conditionné dans des récipients étanches, une agitation pendant une heure assure une diffusion homogène de l'eau dans la masse de grains. Le blé est laissé au repos 24h à 48h à température ambiante.

II.2 Mouture des blés

La mouture a été réalisée au laboratoire de technologie des céréales de l'ITGC d'EL HARRACH à l'aide d'un moulin expérimental de type « CHOPIN-DUBOIS ».

Tableau n°5 : Liste des géotypes étudiés.

| N° | Géotype | Station | Année de récolte |
|-----------|-------------------------|-----------|------------------|
| 1 | Hidhab | El Khroub | 2009/2010 |
| 2 | Aïn Abid | El Khroub | 2009/2010 |
| 3 | Arz | El Khroub | 2009/2010 |
| 4 | Hammam-4 | El Khroub | 2009/2010 |
| 5 | Bohoth-4//NS732/Her | El Khroub | 2009/2010 |
| 6 | BACANORA 86//TAST/TORIA | El Khroub | 2009/2010 |
| 7 | SERI82/SHUHA'S' | El Khroub | 2009/2010 |
| 8 | Cham-6/Shuha-14 | El Khroub | 2009/2010 |
| 9 | PRL /2*PASTOR | El Khroub | 2009/2010 |
| 10 | Humbara-21 | El Khroub | 2009/2010 |
| 11 | Katila | El Khroub | 2009/2010 |
| 12 | KAUZ//PRL/VEE#6/3/BAV92 | El Khroub | 2009/2010 |
| 13 | Kauz'S'/Prew | El Khroub | 2009/2010 |
| 14 | ATTILA | El Khroub | 2009/2010 |
| 15 | Florence aurore | El Khroub | 2008/2009 |
| 16 | Mahon Demias | Tiaret | 2011/2012 |
| 17 | Anza | Tiaret | 2011/2012 |
| 18 | Acsad Djanet | Tiaret | 2011/2012 |
| 19 | Acsad Rmada | Tiaret | 2011/2012 |
| 20 | Acsad 901 | Tiaret | 2011/2012 |
| 21 | Wifak | Tiaret | 2011/2012 |
| 22 | Analpo | Tiaret | 2011/2012 |

II.3 La teneur en eau

Les teneurs en eau des grains avant conditionnement et des farines après mouture ont été déterminées selon la norme algérienne NA 1132-1990, ISO 712 par séchage dans une étuve réglée à 130°C d'une prise d'essai de 5g pendant 2 heures pour les moutures entières et 1h30 min pour les farines.

L'humidité du produit est indiquée par perte de masse rapportée en (%) par rapport à la masse initiale : $(m_0 - m_1 / m_0) \times 100$

m_0 : est la masse, en grammes de la prise d'essai ;

m_1 : est la masse, en gramme de la prise d'essai après séchage.

II.4 Analyses indirectes d'appréciation de la valeur boulangère

II.4 .1 Tests technologiques

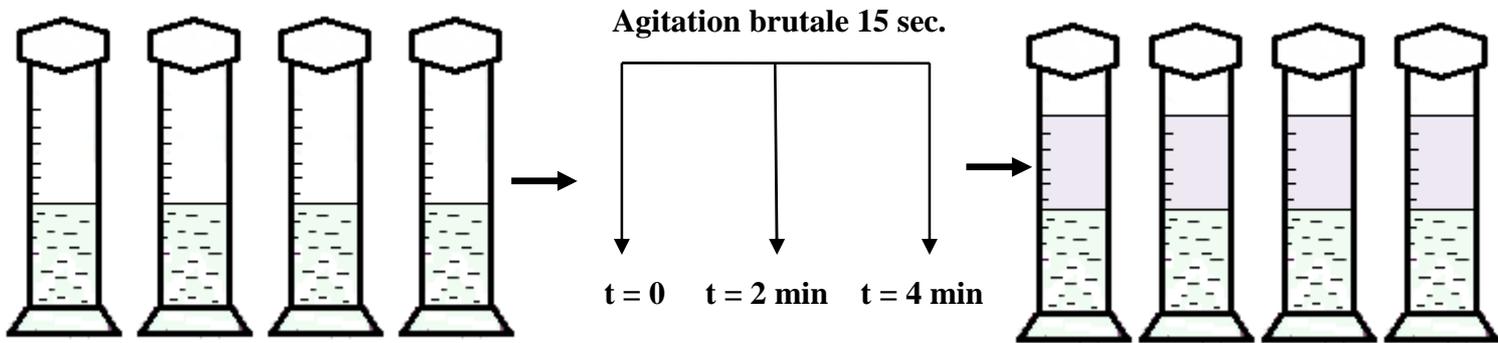
II.4 .1.1 Test de sédimentation en milieu SDS

Ce test a été effectué selon le protocole d'**AXFORD** et *al.* (1979) dont le mode opératoire schématique est donné dans la figure n°4.

Il est préférable de réaliser quatre échantillons en même temps afin de faciliter la manipulation et travailler dans les mêmes conditions. Trois essais ont été réalisés pour chaque échantillon.

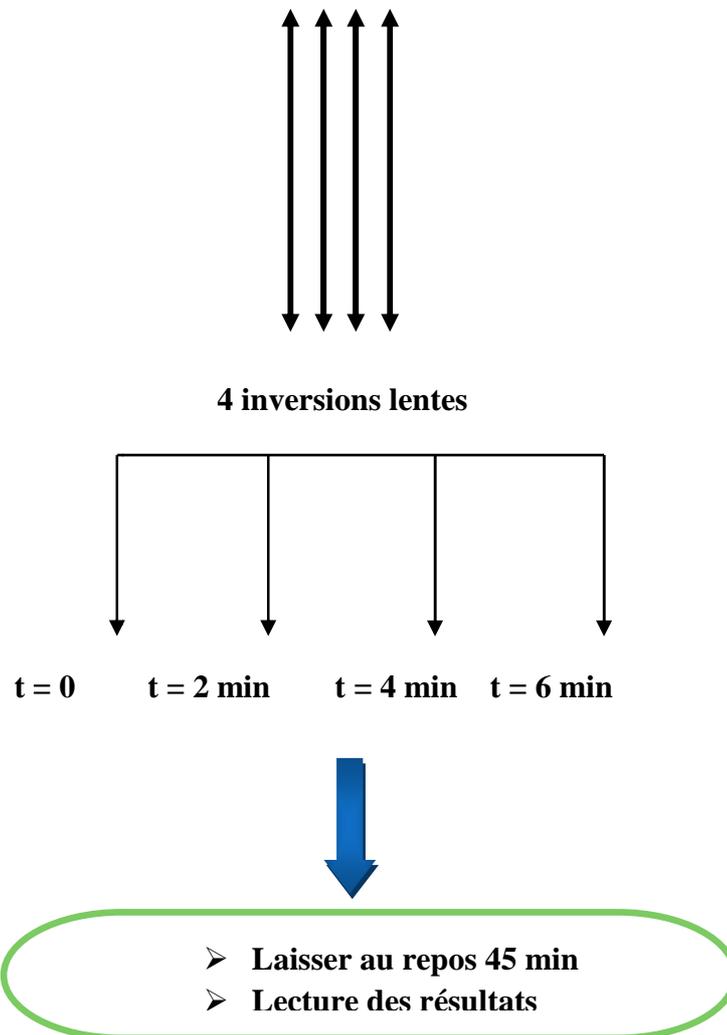
Selon **PAYNE** et *al.* (1979), on peut classer les blés à partir de leur volume de sédimentation comme suit :

- Volume de sédimentation > 70ml: très bonne force boulangère.
- Volume de sédimentation compris entre 60 et 70 ml: force boulangère moyenne.
- Volume de sédimentation <60 ml : blés de force boulangère médiocre.



Dans chaque éprouvette introduire 5g de farine + 50 ml d'eau distillée.

Après agitation, introduire 50 ml d'une solution SDS+acide lactique (*).



(*) : Solution SDS-acide lactique : 1000 ml d'eau distillée + 20 g de SDS + 20 ml d'acide lactique dilué (V.eau/V. acide lactique pur : 800/100).

Figure n°4: Schéma du test de sédimentation en milieu SDS d'après AXFORD et *al.* (1979).

II.4 .1.2 Essai à l'alvéographe CHOPIN :

Le test à l'alvéographe de Chopin a été effectué selon la norme ISO 5530-4.

L'alvéographe Chopin se compose de :

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

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

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

Le graphique $P=f(t)$ est une courbe moyenne de cinq tracés distincts, interprété à l'aide des paramètres suivants (Figure n°5):

- ❖ **P** (mm) : **ténacité** de la pâte, c'est la pression maximale nécessaire à la déformation de la pâte.
- ❖ **L** (mm): **extensibilité** de la pâte, correspond à la longueur de la courbe jusqu'à la rupture.
- ❖ **G** (cm³): **indice de gonflement** ou plus simplement **gonflement** de la pâte, il peut être obtenu par la formule suivante: $G = 2,226 \times L^{1/2}$.

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

- . G de 21 à 24 : bon gonflement ;
 - . G > 23: caractère améliorant.
- ❖ **W** (10⁻⁴ joules): **force boulangère**, dérive du mot anglais « Work », correspond à l'énergie nécessaire au gonflement de la bulle jusqu'au moment de sa rupture. Sa valeur est proportionnelle à la surface sous la courbe obtenue.

$$W = \text{Surface interne du diagramme moyen} \times 6,54.$$

- ❖ **P/L**: C'est le **rapport de configuration**, Il traduit l'équilibre ou le déséquilibre entre la ténacité et l'extensibilité de la pâte.

- ❖ **Ie : indice d'élasticité**, se calcule par la formule: $P_{200} / P \times 100$ (P_{200} se définit comme étant la pression à $G = 14,0$ ou $L = 40\text{mm}$, P étant la pression maximale), cet indice met en évidence les variations de chute de la courbe (courbe plus ou moins creuse).

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

- . Moins de 35 : insuffisant
- . De 35 à 45 : moyen
- . De 45 à 55 : bon
- . Plus de 55 : élevé

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

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

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

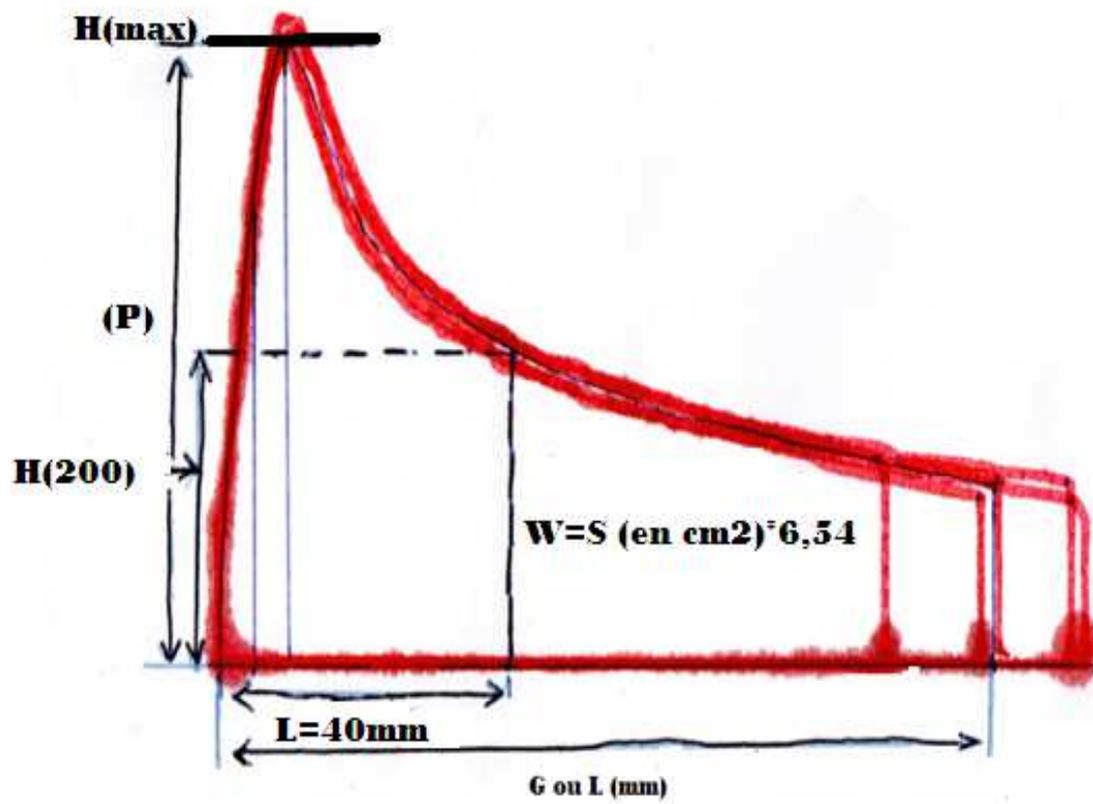


Figure n°5 : Courbes alvéographiques du génotype SERI82/SHUHA'S'.

II.4.2 Analyses biochimiques:

II.4.2.1 Teneur en protéines totales

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

II.4.2.2 Séparation séquentielle et dosage des différentes fractions protéiques sur farine

Sur la base du gonflement G et de la force W, **15** échantillons regroupant des valeurs extrêmes et intermédiaires ont été choisies pour le fractionnement séquentiel des protéines.

Afin d'obtenir une séparation nette et précise des fractions protéiques trois méthodes ont été combinées **LI et al.** (2008), **WANG et KOVACS** (2002) et **DUPONT et al.** (2005) (Figure n°6).

- La séparation des protéines monomériques et des protéines polymériques a été réalisée suivant le protocole de **LI et al.** (2008) :

1 g de farine est extrait trois fois avec 10 ml d'une solution de propanol-1 à 7,5 % + 0,3M NaI ; par agitation de 30 min au vortex et centrifugation à 10000xG pendant 10 min à 4 °C. Après chaque extraction les surnageants sont récupérés et mélangés soit S1, S2 et S3. Le mélange de surnageant obtenu est divisé en deux parties ; dont une partie (15 ml) a servi pour doser directement les protéines monomériques par la méthode de Kjeldahl et la deuxième partie (10 ml) pour précipiter et doser les gliadines. Le culot C3 restant après la troisième extraction contient les protéines polymériques.

- L'extraction des gluténines solubles a été effectuée 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, S6 contenant les gluténines solubles sont

mélangés puis dosées par la méthode de Kjeldahl. Le culot C4 résultant contient les protéines insolubles dont la teneur est déterminée par la méthode de Kjeldahl.

- La séparation des gliadines à partir des protéines monomériques a été effectuée 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), ce mélange est maintenu à - 20 °C pendant 24 h, après ce temps de repos, une centrifugation à 3600xG pendant 10 min à température ambiante est assurée ce qui donne un précipité P5 qui contient les gliadines (les albumines-globulines restent solubles dans la solution 0,1M AC-NH₄-100% méthanol).

Le précipité P5 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 C6 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.

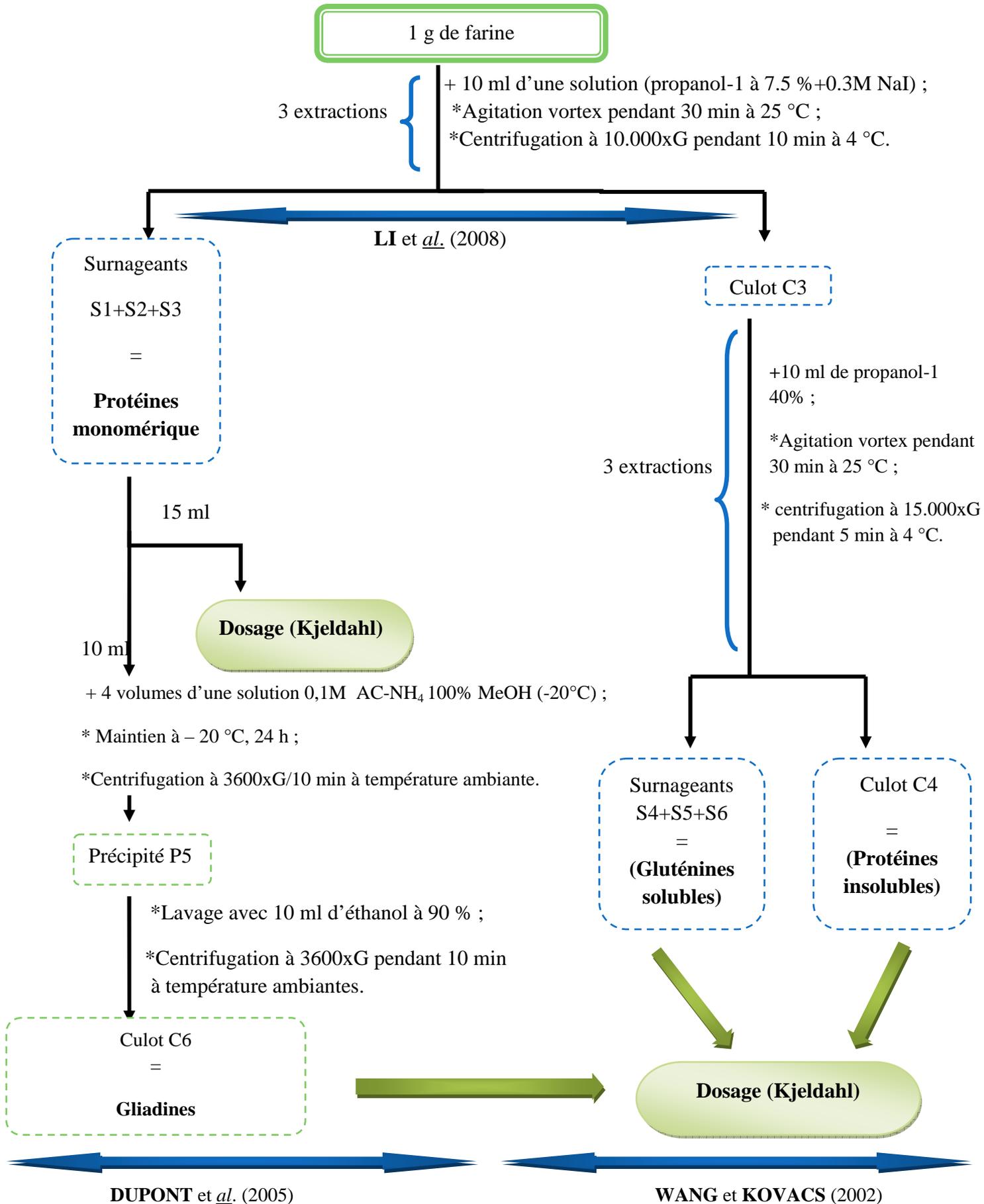


Figure n°6: Procédé de fractionnement séquentiel des protéines par combinaison des méthodes de WANG et KOVACS (2002), LI et *al.* (2008) et DUPONT et *al.* (2005) avec quelques modifications.

II.4.2.3 Fractionnement électrophorétique des protéines

La séparation électrophorétique a été réalisée avec un appareil d'électrophorèse type SE 600 vertical gel Slab unit (Hoeffer scientific instruments, San Francisco California).

II.4.2.3.1 Electrophorèse en gel de polyacrylamide à pH 3,1 (ACIDE-PAGE)

Dans cette technique, le critère de discrimination réside dans la charge électrique des protéines. A pH acide, les gliadines sont chargées positivement, elles se comportent comme des cations et migrent dans un champ électrique vers la cathode.

Trois variétés ont été choisies : **Mahon Demias, Anza, Florence Aurore.**

Les séparations électrophorétique des gliadines et des albumines-globulines ont été effectuées selon le protocole de **KHAN** et *al.* (1985) excepté que nous avons utilisé des gels à 1,5 mm d'épaisseur au lieu de 6 ou 3 mm car d'après ces mêmes auteurs les gels moins épais semble donner de meilleurs séparations.

Les gels qui sont à 6 % en acrylamide ont pour composition en pourcentage :

| | |
|---|----------|
| Acrylamide (P/V)..... | 6%. |
| Bis-acrylamide (P/V)..... | 0,3%. |
| FeSO ₄ -7 H ₂ O(P/V)..... | 0,0002%. |
| Acide ascorbique (P/V)..... | 0,024%. |
| H ₂ O ₂ (solution à 3%, V/V)..... | 0,10%. |

*Le temps de polymérisation est de 10 minutes.

❖ Tampon d'électrophorèse

Le tampon d'électrophorèse à 1,5 g de lactate de sodium est préparé à partir de 1,1 ml du sirop de lactate de sodium + 950 ml d'eau distillée. Le pH est ajusté à 3,1 par ajout d'acide lactique (2,2 ml), puis ajuster le mélange à 1000 ml avec l'eau distillée.

❖ Extraction des protéines salino-solubles

L'extraction des protéines salino-solubles a été conduite suivant le protocole de **FU** et **SAPIRSTEIN** (1996). (Figure n°7)

❖ Extraction des gliadines

L'extraction des gliadines a été effectuée suivant le protocole de **KHAN** et *al.* (1985). (Figure n°8)

❖ Extraction des gliadines et des albumines-globulines

L'extraction des gliadines et des albumines-globulines a été effectuée suivant le protocole de **DUPONT** et *al.* (2005). (Figure n°9)

Les échantillons sont déposés dans le gel à l'aide d'une microseringue, la migration se déroule à intensité constante de 30mA (soit 60mA pour les deux gels) pendant 100 minutes pour conserver les albumines-globulines dans le gel. Un refroidissement est assuré par circulation d'eau à débit constant de 2 l/min.

❖ La coloration des gels

Après avoir retiré les plaques du bac d'électrophorèse et enlevé les plaques supérieures, les gels sont placés dans les bacs de coloration en ajoutant une solution de coloration contenant 20 ml de bleu de comassie (à 1% dans d'éthanol à 95%) et 500 ml de TCA à 12%. La coloration est assurée par agitation à vitesse lente pendant une nuit.

❖ Décoloration des gels

L'opération de décoloration se fait une fois par une solution de TCA à 12% puis deux fois par l'eau distillée. Cette étape est assurée par une agitation lente pendant environ 1 heure jusqu'à apparition des bandes. Après décoloration, les gels sont photographiés.

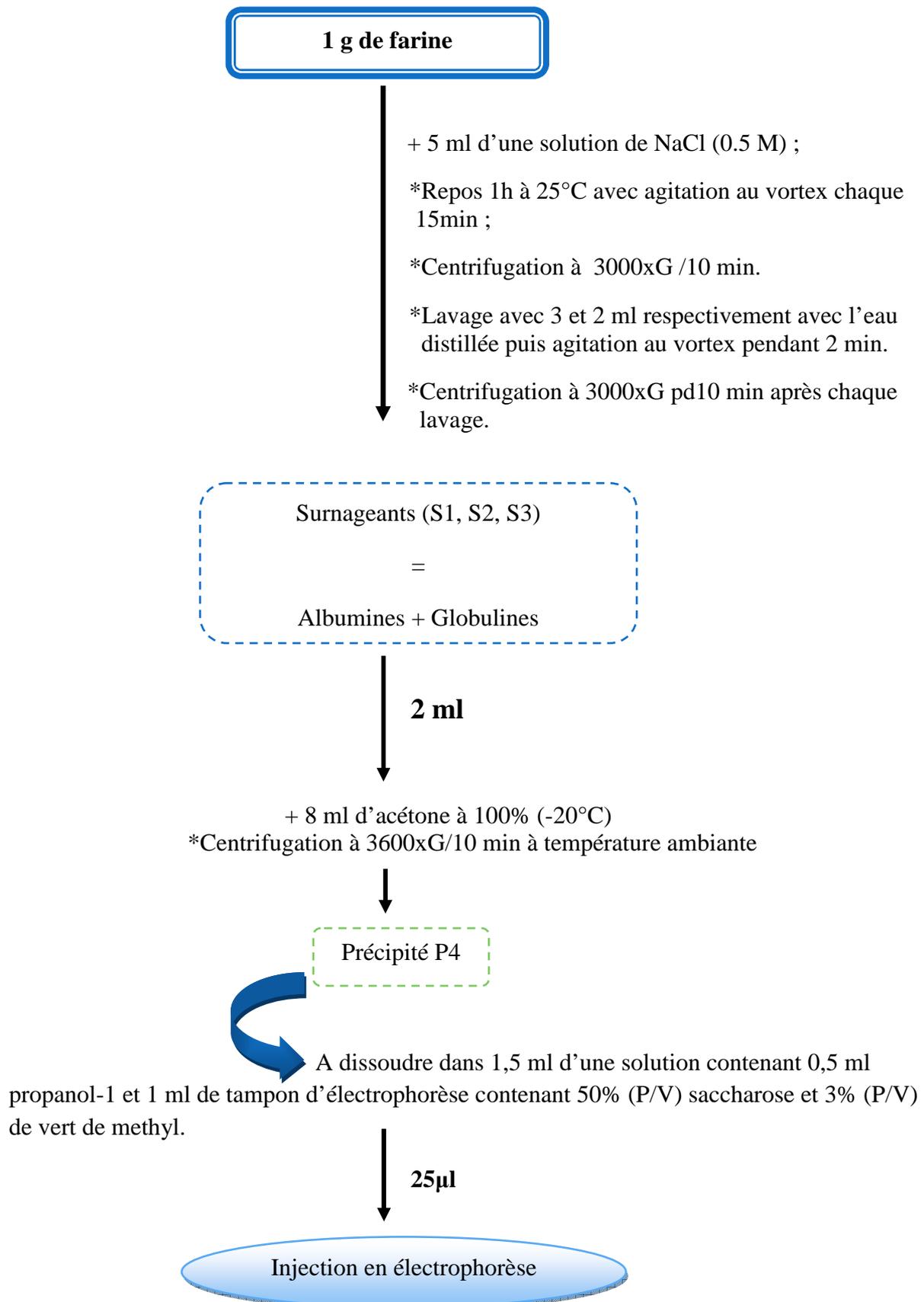


Figure n°7 :L'extraction des protéines salino-solubles suivant le protocole de **FU et SAPIRSTEIN (1996)** avec quelques modifications.

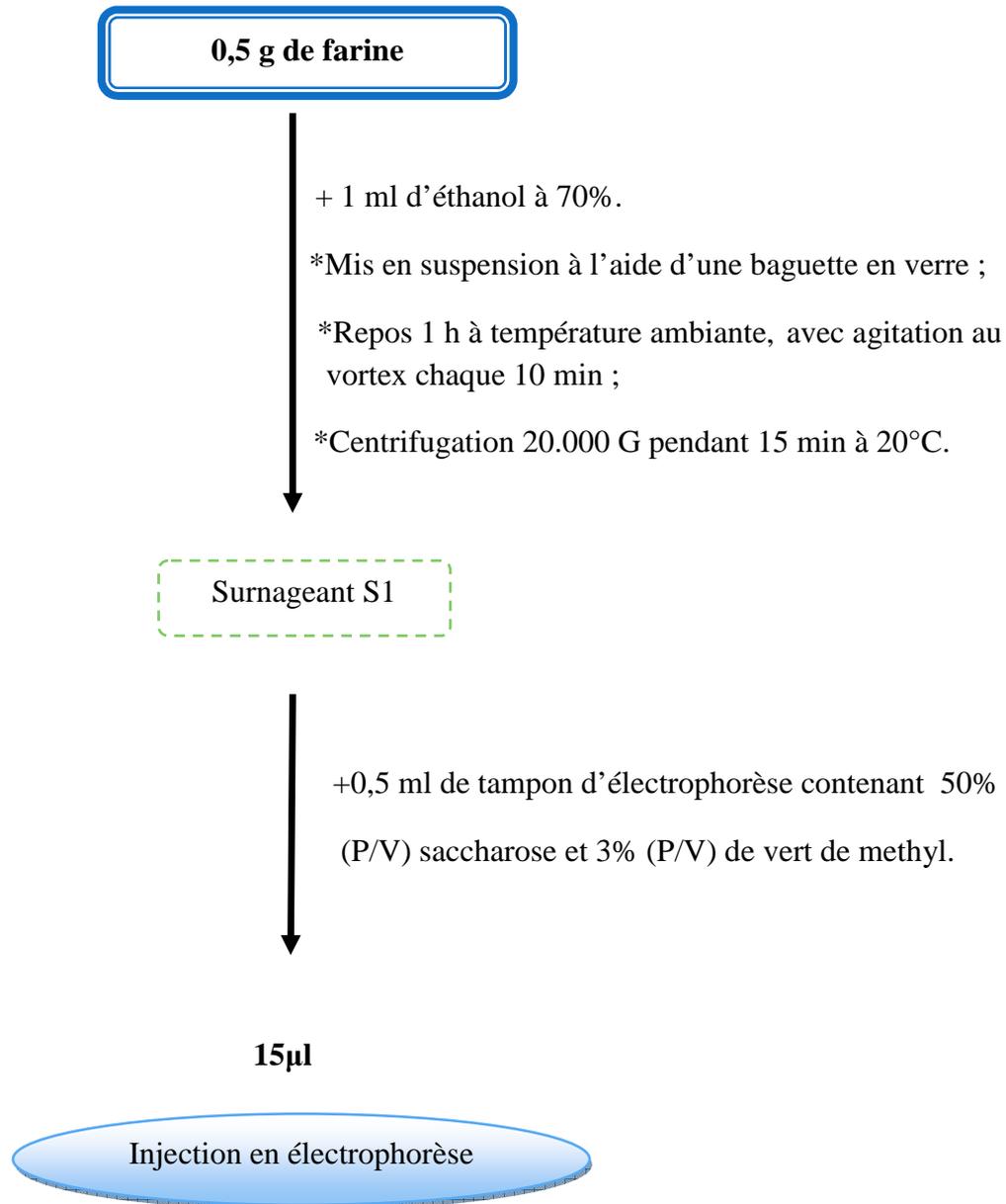


Figure n°8 : L'extraction des gliadines suivant le protocole de **KHAN** et *al.* (1985) légèrement modifié.

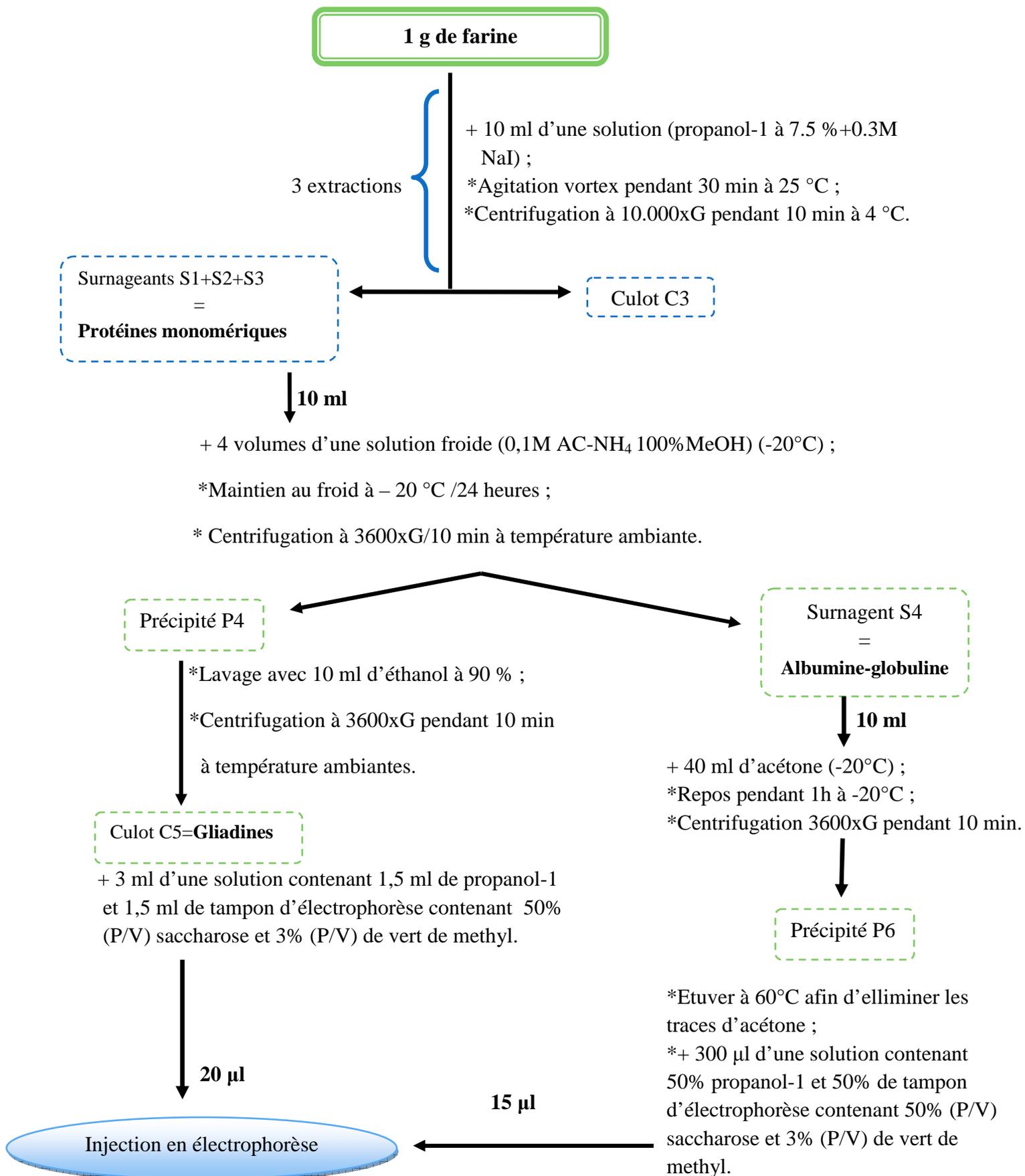


Figure n°9 :L'extraction des gliadines et des albumines-globulines suivant le protocole de **DUPONT** *el al.* (2005).

II.4.2.3.2 Electrophorèse des gluténines en présence du sodium dodecyl sulfate (SDS-PAGE)

La séparation se fait en milieu basique (pH=8,8), en présence de tampon tris-glycine et un détergent anionique le sodium dodecyl sulfate (SDS), ce dernier masque la charge des protéines par sa propre charge négative et annule ainsi la différence de migration due à la charge électrique. La séparation s'effectue donc selon la taille, la conformation et la masse moléculaire.

La technique utilisée pour la séparation des sous-unités gluténines est la méthode SDS-PAGE de **REDAELLI** et *al.* (1995).

❖ Préparation des gels de polyacrylamide

Le support électrophorétique est formé d'un gel de concentration (stacking gel) tamponné à pH 6,8 dont la fonction est de concentrer sous une très faible épaisseur les échantillons de protéines avant leur entrée dans un autre gel dit de séparation (gel principale) tamponné à pH 8,8 dans lequel le fractionnement électrophorétique aura lieu, ce gel à 15% est préparé selon la protocole de **REDAELLI** et *al.* (1995). Les deux gels sont coulés l'un après l'autre entre deux plaques de verres verticales (160×140×1,5mm).

❖ Tampon d'électrophorèse

La solution mère se prépare en mélangeant 141,1 g de glycine ; 30 g de tris ; 10 g de SDS et en amenant à 1000 ml avec de l'eau distillée. Au moment de l'emploi, le tampon d'électrophorèse est préparé en diluant 10 fois la solution mère avec de l'eau distillée.

❖ Extraction des gluténines solubles

L'extraction des gluténines solubles a été effectuée suivant le protocole de **WANG** et **KOVACS** (2002). (Figure n°10)

❖ La solution d'extraction

La solution d'extraction a été préparée selon la méthode de **GUPTA** et **MACRITCHIE** (1991), en mélangeant 12,5 ml de tris-Hcl, 1M (pH=6,8) ; 4 g SDS ; 40 ml glycérol ; 5 mg bleu de bromophénol ; 7,5 ml mercaptoéthanol, eau distillée q.s.p 100 ml.

La migration se déroule à intensité constante de 30mA (soit 60mA pour les deux gels) pendant 5 heures 30 minutes. Un refroidissement est assuré par circulation d'eau à débit constant de 2 l/min.

❖ **La coloration des gels**

Après avoir retiré les plaques du bac d'électrophorèse, les gels débarrassés des plaques de verre sont placés dans les bacs de coloration en ajoutant 140 ml d'une solution de bleu de comassie (1g de bleu de comassie dissout dans 140 ml d'éthanol à 95%) ; 100 ml de TCA à 60% ; 40 ml d'acide acétique ; eau distillée q.s.p 400 ml. La coloration est assurée par agitation à vitesse lente pendant une nuit.

❖ **Décoloration des gels**

L'opération de décoloration se fait dans une solution contenant 140 ml d'éthanol ; 40 ml d'acide acétique glacial ; eau distillée q.s.p 400 ml. Après décoloration, les gels sont photographiés.

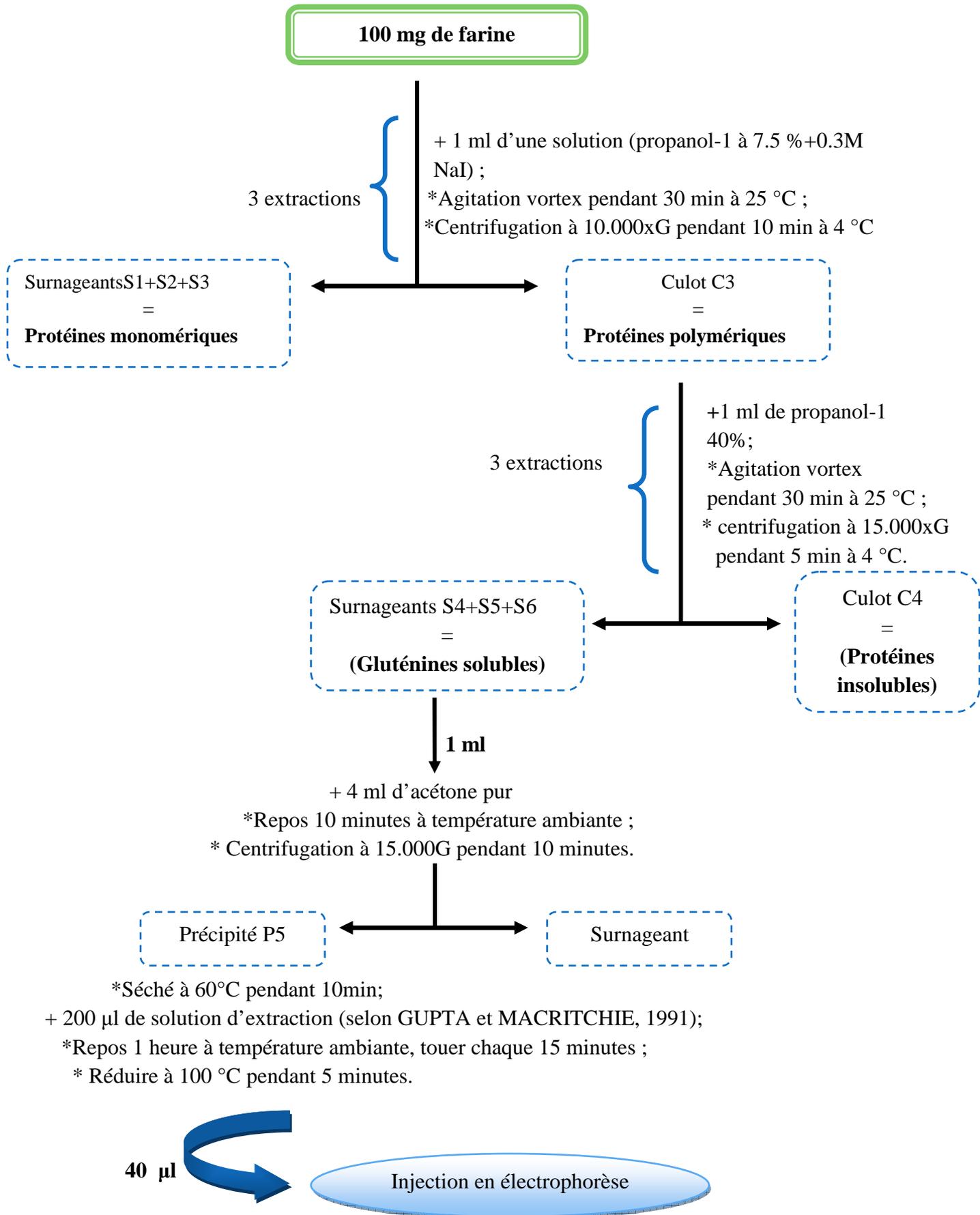


Figure n°10 :L'extraction des gluténines solubles suivant le protocole de **WANG** et **KOVACS** (2002).

III. ANALYSE STATISTIQUE

L'étude statistique a porté sur la détermination des coefficients de corrélation linéaire de **PEARSON** et de coefficients de corrélation de rang de **SPEARMAN**.

RESULTATS ET DISCUSSION

I. HUMIDITE

Les résultats des humidités des grains et des farines sont rassemblés dans le **tableau n°6**.

I.1 Humidité des grains

Ce paramètre renseigne sur la quantité d'eau à ajouter aux grains afin de ramener leurs humidités à 16,5 % et cela dans le but d'obtenir un détachement facile des enveloppes de l'amande farineuse et obtenir ainsi un bon taux d'extraction.

Les teneurs en eau des grains des blés étudiés varient entre 11,76% et 12,70% pour les génotypes de la station d'El-Khroub et entre 10,04% et 11,02% pour ceux de la station de Tiaret. Les humidités de la seconde station sont relativement faibles par rapport à celles rapportées par beaucoup d'auteurs ; ces différences marquées peuvent être dues à divers facteurs (lieu de culture, différences variétales, conditions de stockage et de récolte,...).

I.2 Humidité des farines

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

Il ressort du tableau n°6 que les humidités des farines des génotypes étudiés varient entre 13,06% et 14,81% avec une moyenne de $14,08 \pm 0,40\%$ pour les génotypes de la station d'El-Khroub et entre 11,41% et 12,52% avec une moyenne de $12,19 \pm 0,44\%$ pour ceux de la station de Tiaret. Ces différences peuvent être expliquées par plusieurs facteurs entre autre la perte en eau lors de la mouture liés au génotype et la non homogénéité du mouillage lors du conditionnement.

Tableau n°6: Humidité des grains et des farines en (%).

| N° | station | Géotypes | Humidité des grains en % (*) | Humidité des farines en % (*) |
|----|------------|-------------------------|------------------------------|-------------------------------|
| 1 | El -Khroub | Hidhab | 12,16 | 14,28 |
| 2 | | Aïn Abid | 12,42 | 14,67 |
| 3 | | Arz | 12,54 | 14,81 |
| 4 | | Hammam-4 | 11,94 | 14,10 |
| 5 | | Bohoth-4//NS732/Her | 12,46 | 13,06 |
| 6 | | BACANORA 86//TAST/TORIA | 12,56 | 13,93 |
| 7 | | SERI82/SHUHA'S' | 12,12 | 14,17 |
| 8 | | Cham-6/Shuha-14 | 11,79 | 14,10 |
| 9 | | PRL /2*PASTOR | 11,94 | 14,08 |
| 10 | | Humbara-21 | 12,04 | 14,15 |
| 11 | | Katila | 11,94 | 13,71 |
| 12 | | KAUZ//PRL/VEE#6/3/BAV92 | 11,98 | 14,10 |
| 13 | | Kauz'S'/Prew | 11,94 | 13,81 |
| 14 | | ATTILA | 11,76 | 13,92 |
| 15 | | Florence aurore | 12,70 | 14,38 |
| 16 | Tiaret | Mahon demias | 10,04 | 12,52 |
| 17 | | Anza | 10,55 | 12,10 |
| 18 | | Acsad djanet | 10,43 | 12,48 |
| 19 | | Acsad rmada | 10,96 | 12,30 |
| 20 | | Acsad 901 | 10,33 | 12,24 |
| 21 | | Wifak | 10,87 | 11,50 |
| 22 | | Analpo | 11,02 | 11,41 |

(*) Moyenne des deux essais.

II. TESTS TECHNOLOGIQUES

II.1 Taux d'extraction

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

Selon **CALVEL** (1980), la farine provient particulièrement de l'albumen du grain qui représente environ 70 % du poids du grain, ainsi une farine dont le taux d'extraction est de 70 % est dite d'albumen car les couches externes du grain ont été éliminées.

La majeure partie des matières minérales contenues dans la farine proviennent du son. Bien qu'une grande partie du son soit extraite lors de la mouture, le produit final en contient toujours encore, donc plus le taux d'extraction est élevé, plus la farine contient des minéraux.

Les taux d'extraction que donne le moulin **CHOPIN DUBOIS** sont situés essentiellement dans l'intervalle de 60 à 65%. (**ROUSSEL**, 1984).

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

Les résultats regroupés dans le tableau n°7 montrent que les taux d'extraction des blés étudiés sont compris entre 51,57% et 67,63%.

La majorité des génotypes (16 sur 22) ont donné des taux d'extraction compris entre 60 et 70%, la plupart des génotypes provenant de la station de Tiaret ont donné des taux d'extraction inférieurs à 60% et compris entre 59,20% et 51,57%.

Les faibles taux d'extraction peuvent être expliqués par le génotype ou par les pertes durant la mouture (réglage du moulin).

Tableau n°7: Classement hiérarchique des géotypes étudiés en fonction de leurs taux d'extraction.

| N° | Géotypes | Poids sons (g) | Poids farine (g) | Taux d'extraction en (%) |
|----|-------------------------|----------------|------------------|--------------------------|
| 1 | Hidhab | 229,00 | 676,27 | 67,63 |
| 2 | SERI82/SHUHA'S' | 199,13 | 670,30 | 67,03 |
| 3 | Cham-6/Shuha-14 | 225,51 | 656,32 | 65,63 |
| 4 | PRL /2*PASTOR | 226,30 | 648,70 | 64,87 |
| 5 | Hammam-4 | 234,78 | 640,94 | 64,09 |
| 6 | Kauz'S'/Prew | 251,23 | 637,72 | 63,77 |
| 7 | ATTILA | 227,48 | 637,34 | 63,73 |
| 8 | Arz | 220,29 | 634,30 | 63,43 |
| 9 | BACANORA 86//TAST/TORIA | 235,35 | 633,56 | 63,36 |
| 10 | Mahon demias | 248,00 | 632,00 | 63,20 |
| 11 | Humbara-21 | 238,30 | 631,78 | 63,18 |
| 12 | Katila | 225,15 | 631,34 | 63,13 |
| 13 | Analpo | 250,60 | 622,74 | 62,27 |
| 14 | KAUZ//PRL/VEE#6/3/BAV92 | 228,26 | 619,27 | 61,93 |
| 15 | Bohoth-4//NS732/Her | 218,48 | 618,35 | 61,84 |
| 16 | Aïn Abid | 245,74 | 607,20 | 60,72 |
| 17 | Acsad 901 | 298,20 | 592,00 | 59,20 |
| 18 | Anza | 236,20 | 560,00 | 56,00 |
| 19 | Florence aurore | - | 557,53 | 55,75 |
| 20 | Wifak | 201,00 | 539,80 | 53,98 |
| 21 | Acsad dj Janet | 239,87 | 520,42 | 52,04 |
| 22 | Acsad rmada | 144,83 | 515,72 | 51,57 |

II.2 Test de sédimentation en milieu SDS

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

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

Les volumes de sédiments en milieu SDS des génotypes étudiés oscillent entre 32,5 et 68 ml. Ils sont classés hiérarchiquement dans le tableau n°8.

Par référence aux travaux de **PAYNE** et *al.* (1979), les génotypes de blés tendres étudiés peuvent être classés en 2 catégories selon leur volume de sédimentation en milieu SDS :

- Les 4 premiers génotypes du classement hiérarchique ont donné des volumes de sédimentation allant de 61 ml à 68 ml et sont considérés comme des blés de **force boulangère moyenne** (volume de sédiment compris entre 60 et 70 ml).
- Le restant des génotypes a donné des volumes de sédimentation inférieurs à 60 ml, ce sont donc des blés de **force boulangère médiocre**.

Tableau n°8 : Classement hiérarchique des géotypes étudiés en fonction de leur indice de sédimentation SDS (volume de sédimentation en ml).

| N° | Géotypes | Essai 1 | Essai 2 | Essai 3 | Moyenne |
|----|-------------------------|---------|---------|---------|---------|
| 1 | Acsad Djanet | 68 | 67,5 | 68 | 68 |
| 2 | Acsad Rmada | 62 | 62,5 | 63 | 62,5 |
| 3 | Wifak | 62 | 62 | 63 | 62 |
| 4 | Florence aurore | 60 | 61 | 61,5 | 61 |
| 5 | SERI82/SHUHA'S' | 56 | 57 | 56,5 | 56,5 |
| 6 | Arz | 54 | 55 | 54,5 | 54,5 |
| 7 | Analpo | 53 | 53,5 | 54 | 53,5 |
| 8 | PRL /2*PASTOR | 52 | 52,5 | 53 | 52,5 |
| 9 | Acsad 901 | 52 | 52 | 52,5 | 52 |
| 10 | KAUZ//PRL/VEE#6/3/BAV92 | 47 | 47,5 | 48 | 47,5 |
| 11 | Kauz'S'/Prew | 44 | 45 | 44,5 | 44,5 |
| 12 | ATTILA | 43 | 43,5 | 44 | 43,5 |
| 13 | Anza | 42 | 43 | 42,5 | 42,5 |
| 14 | Hidhab | 41 | 39 | 40 | 40 |
| 15 | Aïn Abid | 40 | 39 | 39,5 | 39,5 |
| 16 | Cham-6/Shuha-14 | 39 | 38,5 | 38,5 | 39 |
| 17 | Hammam-4 | 39 | 38,5 | 38 | 38,5 |
| 18 | Bohoth-4//NS732/Her | 37 | 37,5 | 36,5 | 37 |
| 19 | Humbara-21 | 34 | 35 | 35 | 34,5 |
| 20 | Katila | 32 | 33 | 33 | 32,5 |
| 21 | BACANORA 86//TAST/TORIA | 29 | 30 | 31 | 30 |
| 22 | Mahon Demias | 32 | 33 | 32,5 | 32,5 |

II.3 Essai à l'alvéographe de Chopin

Les résultats de l'essai à l'alvéographe sont regroupés dans le tableau n°9, de ce tableau il en ressort que :

Parmi les 22 blés étudiés et selon la norme ISO5530/04:

- Les **4** premiers génotypes du classement hiérarchique ont donné des $W > 250$ (compris entre 260 et 415) donc se sont des **blés de force**, ces blés sont très recherchés pour améliorer la force des blés faibles. Ces génotypes présentent les caractéristiques suivantes:
 - Des ténacités élevées ($P > 100$) à l'exception de la variété **Acsad rmada** qui présente une ténacité de 99, donc considéré comme un blé de très bonne qualité selon les critères de **BORDES** et *al.* (2008).
 - Des gonflements faibles (G compris entre 18,2 et 20,40) excepté la variété **Acsad djanet** qui a donné un bon gonflement (21,6).
 - Des rapports de configuration P/L déséquilibrés.
- Les **9** échantillons qui suivent dans le classement hiérarchique peuvent se classer comme des **blés panifiables courants** avec des W compris entre 130 et 250, ces blés présentent des rapports de configuration P/L déséquilibrés et des gonflements G insuffisants (entre 15,30 et 18,90), à l'exception de deux génotypes (**SERI82/SHUHA'S'**, **Acsad 901**) qui présentent des rapports P/L équilibrés (0,68 et 0,64 respectivement) et de bons gonflements (G de 23,08 et 21,50 respectivement) ; selon la norme ISO5530/04 ces deux derniers génotypes sont des blés améliorants.

Sur la base des ténacités et selon les critères de **BORDES** et *al.* (2008), parmi ces échantillons :

- Cinq génotypes (**SERI82/SHUHA'S'**, **Acsad 901**, **Bohoth-4//NS732/Her**, **Kauz'S'/Prew**, **Hammam-4**) présentent des ténacités compris entre 60 et 80 donc considérés comme des blés standards.
- Trois génotypes (**Arz**, **PRL /2*PASTOR**, **KAUZ//PRL/VEE#6/3/BAV92**) présentent des ténacités de 90,2 ; 87,4 ; 84,7 respectivement, donc peuvent être considérés comme des blés de très bonne qualité.
- La variété **Analpo** présente une ténacité élevée (103,40), donc c'est un blé très fort.

➤ Les 9 derniers géotypes du classement hiérarchique ont donné des W alvéographiques inférieurs à 130 donc considérés comme des **blés impanifiables**.

Ces géotypes présentent les caractéristiques suivantes:

- Des gonflements G insuffisants (de 12,50 à 20,75) à l'exception de la variété **Attila** qui a donné un bon gonflement (G= 23), des rapports de configuration P/L déséquilibrés à l'exception de deux variétés (**Hidhab** et **Mahon demias**) qui ont présentées des rapports de configuration équilibrés (0,59 et 0,68 respectivement)
- Des ténacités très faibles (de 44,00 à 56,10) à l'exception de quatre variétés (**Humbara-21**, **Ain Abid**, **Katila**, **BACANORA86//TAST/TORIA**) qui ont présenté des ténacités compris entre 60 et 80.

La quasi-totalité des géotypes étudiés se caractérisent par des gonflements G faibles (inférieur à 20), seulement 4 géotypes (**Acsad djanet**, **SERI82/SHUHA'S'**, **Acsad 901**, **Attila**) ont donné des G compris entre 21 et 24 donc se sont des blés à bon gonflement selon les critères de **MAUZE** et *al.* (1972).

La majorité des échantillons se caractérisent par des rapports de configuration P/L déséquilibrés et élevés à l'exception de 4 géotypes (**SERI82/SHUHA'S'**, **Acsad 901**, **Hidhab**, **Mahon demias**).

Les indices d'élasticité de 13 géotypes étudiés sont moyens à bons, cinq géotypes ont présenté des indices supérieurs à 55 donc élevés, 2 géotypes ont donné des Ie inférieur à 35 donc insuffisant et 2 géotypes ont des Ie incalculables (extensibilité L<40).

Tableau n°9: Classement hiérarchique des génotypes étudiés en fonction de la force boulangère (W).

| N° | Génotypes | W (10 ⁻⁴ J) | P (mmH2O) | L (mm) | G (cm ³) | P/L | Ie (%) |
|----|-------------------------|---------------------------|--------------|--------|-------------------------|------|--------|
| 1 | Acsad djanet | 415 | 113,30 | 95 | 21,60 | 1,19 | 62,00 |
| 2 | Wifak | 325 | 110,00 | 79 | 19,70 | 1,39 | 57,00 |
| 3 | Acsad rmada | 310 | 99,00 | 85 | 20,40 | 1,16 | 56,00 |
| 4 | Florence aurore | 260 | 103,4 | 67 | 18,2 | 1,50 | 65,95 |
| 5 | SERI82/SHUHA'S' | 235 | 72,60 | 108 | 23,08 | 0,68 | 50,00 |
| 6 | Arz | 215 | 90,20 | 71 | 18,70 | 1,27 | 46,34 |
| 7 | Analpo | 215 | 103,40 | 47 | 15,30 | 2,20 | 53,20 |
| 8 | Acsad 901 | 205 | 60,50 | 94 | 21,50 | 0,64 | 56,00 |
| 9 | PRL /2*PASTOR | 205 | 87,40 | 67 | 18,10 | 1,30 | 45,20 |
| 10 | KAUZ//PRL/VEE#6/3/BAV92 | 175 | 84,70 | 65 | 17,92 | 1,30 | 37,60 |
| 11 | Bohoth-4//NS732/Her | 150 | 70,40 | 65 | 17,80 | 1,08 | 40,60 |
| 12 | Kauz'S'/Prew | 145 | 66,00 | 73 | 18,90 | 0,90 | 38,30 |
| 13 | Hammam-4 | 145 | 77,00 | 55 | 16,50 | 1,40 | 37,10 |
| 14 | Humbara-21 | 127 | 66,00 | 54 | 16,30 | 1,22 | 39,16 |
| 15 | Anza | 125 | 56,10 | 76 | 19,46 | 0,73 | 35,30 |
| 16 | Attila | 125 | 44,00 | 107 | 23,00 | 0,41 | 37,50 |
| 17 | Hidhab | 120 | 52,25 | 87,50 | 20,75 | 0,59 | 37,90 |
| 18 | Aïn Abid | 120 | 67,00 | 56 | 16,57 | 1,17 | 34,16 |
| 19 | Katila | 110 | 78,10 | 36 | 13,38 | 2,16 | - |
| 20 | Cham-6/Shuha-14 | 110 | 52,80 | 70 | 18,60 | 0,75 | 35,40 |
| 21 | Mahon demias | 95 | 53,90 | 79 | 19,75 | 0,68 | 24,50 |
| 22 | BACANORA86//TAST/TORIA | 90 | 62,70 | 32 | 12,50 | 1,95 | - |

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

- 16 génotypes sur 22 ont donné des taux d'extraction compris entre 60 et 70%, le restant des génotypes a donné des taux légèrement plus faibles compris entre 59,20 et 51,57%. La majorité des échantillons provenant de la station de Tiaret sont ceux qui ont donné des taux d'extraction inférieurs à 60%.
- A l'exception des 4 premiers génotypes du classement hiérarchique du test SDS qui ont donné des volumes de sédiments compris entre 60 et 70 et qui peuvent être considérés comme des blés de force boulangère moyenne, le restant des génotypes a donné des volumes de sédiments inférieurs à 60 ml et sont considérés comme des blés de mauvaise qualité boulangère.
- En référence à la norme I.S.O.5530/04, les résultats obtenus montrent que 4 échantillons sont des blés de force, 7 sont des blés panifiables courants, 9 sont des blés impanifiables et deux blés (**SERI82/SHUHA'S'**, **Acsad 901**) présentant des bons gonflements, des rapports P/L équilibrés et des W respectives de 235 et 205 sont considérés comme des blés améliorants.
- De façon plus générale, la quasi-totalité des génotypes étudiés se caractérisent par des gonflements G faibles (inférieur à 20) et des rapports de configuration P/L déséquilibrés, à l'exception d'**Acsad djanet**, **SERI82/SHUHA'S'**, **Acsad 901** et **Attila** qui ont donné des G compris entre 21 et 24 et de **SERI82/SHUHA'S'**, **Acsad 901**, **Hidhab** et **Mahon demias** qui ont donné des rapports de configuration P/L équilibrés.
- Les indices d'élasticité de la majorité des échantillons étudiés sont tous moyens à bons, à l'exception de cinq génotypes qui présentent des indices supérieurs à 55 donc élevés, 2 génotypes ont donné des Ie inférieurs à 35 donc insuffisant et 2 ont donné des Ie incalculables (extensibilité L<40).

III. TESTS BIOCHIMIQUES

III.1 Teneur en protéines totales :

La connaissance de la teneur en protéines associée à celle de la variété du blé, donne une bonne information sur la capacité technologique de la farine (**CHENE**, 2001).

Si pour qu'un génotype donné soit de force, il doit être nécessairement riche en protéines, l'inverse n'est pas obligatoirement vrai (**ROUSSET**, 1981).

Les farines boulangères ont généralement des teneurs en protéines de 11 à 11,5 %, les farines de force au dessus de 12 % alors que les farines biscuitières sont à 10 % voir moins (**ROUSSEL** et **CHIRON**, 2002).

Le tableau n°10 regroupe les teneurs en protéines totales des génotypes étudiés. Ces teneurs varient de 9,71% à 15,39% (grammes de protéines dans 100 g de matière sèche) avec une moyenne de 12, 10% \pm 1,35. À l'exception de la variété Ain Abid qui a présenté une teneur en protéine de 9,71%, la plupart des valeurs dépassent le seuil de 10-11% en dessous duquel selon **BERLAND** et **ROUSSEL** (2005) on ne peut pas obtenir de bons résultats en panification.

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 génotype (**PECHANNEK** et *al.*, 1997 ; **MAGHIRANG** et *al.*, 2006). La quantité et la qualité sont des paramètres importants de la qualité boulangère (**WANG** et *al.*, 2007).

Tableau n°10: Classement hiérarchique des géotypes étudiés en fonction de leurs teneurs en protéines totales.

| N° | Géotypes | Teneur en protéines (g/100g MS) (*) |
|----|-------------------------|-------------------------------------|
| 1 | Acsad djanet | 15,39 |
| 2 | Wifak | 14,22 |
| 3 | Florence aurore | 14,21 |
| 4 | Acsad rmada | 14,02 |
| 5 | SERI82/SHUHA'S' | 12,59 |
| 6 | KAUZ//PRL/VEE#6/3/BAV92 | 12,47 |
| 7 | Kauz'S'/Prew | 12,34 |
| 8 | Hammam-4 | 12,33 |
| 9 | Anza | 12,26 |
| 10 | ATTILA | 12,16 |
| 11 | Arz | 12,04 |
| 12 | Acsad 901 | 11,97 |
| 13 | Analpo | 11,56 |
| 14 | Hidhab | 11,49 |
| 15 | Cham-6/Shuha-14 | 11,45 |
| 16 | PRL /2*PASTOR | 11,31 |
| 17 | Katila | 11,31 |
| 18 | Mahon Demias | 11,02 |
| 19 | Humbara-21 | 10,99 |
| 20 | Bohoth-4//NS732/Her | 10,78 |
| 21 | BACANORA 86//TAST/TORIA | 10,65 |
| 22 | Aïn Abid | 9,71 |

(*) : Moyenne de deux essais.

III.2 Teneurs en différentes fractions protéiques

Les teneurs en protéines des fractions extraites à partir de 15 échantillons de blé sont données dans le tableau n°11.

III.2.1 Protéines monomériques

Les teneurs en protéines monomériques sont comprises entre 45,30 et 60,97% avec une moyenne de $50,70 \pm 4,82\%$.

Ces teneurs sont du même ordre de grandeur que celles trouvées par **SAPIRSTEIN** et **FU** (1998) [48,3 à 51,9 %], **BOULOUZA** et **ZANAZ** (2010) [49,15 à 59,43%], **LAKER** et **KEDDAR** (2011) [43,78 à 53,48 %], **BELALOUI** (2012) [44,76 à 65,12 %] et **YOUYOU** (2012) [48,83 à 55,81 %].

III.2.2 Gliadines

Les teneurs en gliadines des génotypes étudiés varient entre 29,23 et 38,98% avec une moyenne de $33,48 \pm 3,22\%$.

Ces valeurs sont de même ordre de grandeurs que celles trouvées par **LAKER** et **KEDDAR** (2011) [28,35 à 40,64 %], **BELALOUI** (2012) [26,17 à 43,06%], **PARK** et *al.* (2006) [30,6 à 39,1%], **DUPONT** et *al.* (2005) ont rapporté une moyenne de $40,2 \pm 1,5 \%$.

III.2.3 Albumines-globulines

Les teneurs en albumines-globulines de nos génotypes sont comprises entre 7,68 et 28,18% avec une moyenne de $17,22 \pm 4,59\%$.

A l'exception de la variété **SERI82/SHUHA'S** et **BACANORA86//TAST/TORIA** qui ont présenté des valeurs extrêmes en cette fraction (7,68 et 28,18% respectivement), les teneurs des 20 autres échantillons étudiées oscillent entre 12,60 et 20,61%. Ces valeurs sont proches de celles rapportées par **PRESTON** et *al.* (1992) [13,4 à 24,7 %], **MOKHTARI** et **BENZAÏM** (2008) [12 à 25 %] et par **LAKER** et **KEDDAR** (2011) [8,12 à 20,65 %].

III.2.4 Gluténines solubles

Les teneurs en protéines des gluténines solubles de nos échantillons sont comprises entre 9,69 et 18,76% avec une moyenne de $14,29 \pm 2,41\%$.

Ces teneurs sont proches de celles rapportées par **SAPIRSTEIN** et **FU** (1998) [10 à 20 %], **MAGHIRANG** et *al.* (2006) [11,5 à 18,4 %], **PARK** et *al.* (2006) [7,3 à 15%], **BOULOUSA** et **ZANAZ** (2010) [8,23 à 20,64 %], **LAKER** et **KEDDAR** (2011) [10,16 à 17,27 %], **BELALOUI** (2012) [8,35 à 19,62 %] et par **YOUYOU** (2012) [7,99 à 13,6 %].

III.2.5 Résidus protéique insoluble (ou protéines insolubles)

Les teneurs en résidus insolubles des génotypes étudiés sont comprises entre 27,95 et 39,88 % avec une moyenne de $33,58 \pm 3,35\%$.

Ces valeurs sont du même ordre de grandeur que celles rapportées par **SAPIRSTEIN** et **FU** (1998) [30,3 à 42,1 %], **MOKHTARI** et **BENZAÏM** (2008) [24,98 à 40,09 %], **BOULOUSA** et **ZANAZ** (2010) [31,48 à 41,12 %], **LAKER** et **KEDDAR** (2011) [28,74 à 38,41 %], **BELALOUI** (2012) [27,51 et 37,83 %] et **YOUYOU** (2012) [34,16 à 39,78%].

Tableau n°11: Proportion des différentes fractions protéiques des génotypes étudiés (moyenne de trois essais).

| Fraction génotypes | PT g/100g de MS | P. Mon. | | A. G. | | Gli. | | Glu. Sol. | | P. Ins. | | Σ % |
|-------------------------|-----------------------|---------|-------|-------|-------|------|-------|-----------|-------|---------|-------|--------|
| | | % MS | % PT | % MS | % PT | % MS | % PT | % MS | % PT | % MS | % PT | |
| Hidhab | 11,49 | 6,17 | 53,69 | 2,19 | 19,10 | 3,97 | 34,59 | 1,71 | 14,88 | 3,21 | 27,95 | 96,52 |
| Aïn Abid | 9,71 | 4,79 | 49,31 | 1,95 | 20,09 | 2,84 | 29,23 | 1,82 | 18,76 | 3,09 | 31,87 | 99,95 |
| BACANORA 86//TAST/TORIA | 10,65 | 6,49 | 60,97 | 3,00 | 28,18 | 3,49 | 32,79 | 1,97 | 18,45 | 3,02 | 28,38 | 107,81 |
| SERI82/SHUHA'S' | 12,59 | 5,85 | 46,47 | 0,97 | 7,68 | 4,88 | 38,79 | 1,67 | 13,23 | 4,45 | 35,34 | 95,04 |
| KAUZ//PRL/VEE#6/3/BAV92 | 12,47 | 5,99 | 48,02 | 1,92 | 15,43 | 4,06 | 32,58 | 1,92 | 15,43 | 4,30 | 34,45 | 97,90 |
| Kauz'S'/Prew | 12,34 | 6,64 | 53,80 | 2,26 | 18,32 | 4,38 | 35,49 | 1,68 | 13,64 | 4,49 | 36,38 | 103,82 |
| ATTILA | 12,16 | 6,13 | 50,42 | 1,53 | 12,60 | 4,60 | 37,81 | 1,62 | 13,29 | 3,89 | 32,00 | 95,71 |
| Florence aurore | 14,21 | 7,26 | 51,06 | 2,86 | 20,11 | 4,40 | 30,95 | 1,38 | 9,69 | 4,90 | 34,46 | 95,22 |
| Mahon Demias | 11,02 | 6,57 | 59,59 | 2,27 | 20,61 | 4,30 | 38,98 | 1,65 | 15,01 | 3,29 | 29,88 | 104,49 |
| Anza | 12,26 | 6,58 | 53,67 | 2,25 | 18,34 | 4,33 | 35,33 | 1,66 | 13,51 | 3,84 | 31,35 | 98,53 |
| Acsad Djanet | 15,39 | 6,97 | 45,30 | 2,10 | 13,62 | 4,88 | 31,68 | 1,95 | 12,65 | 6,14 | 39,88 | 97,82 |
| Acsad rmada | 14,02 | 6,51 | 46,45 | 2,29 | 16,30 | 4,23 | 30,15 | 1,71 | 12,23 | 4,98 | 35,51 | 94,19 |
| Acsad 901 | 11,97 | 5,84 | 48,75 | 1,72 | 14,33 | 4,12 | 34,42 | 1,51 | 12,62 | 4,19 | 34,97 | 96,34 |
| Wifak | 14,22 | 6,48 | 45,56 | 2,20 | 15,50 | 4,27 | 30,06 | 1,96 | 13,80 | 5,36 | 37,71 | 97,07 |
| Analpo | 11,56 | 5,50 | 47,56 | 2,11 | 18,21 | 3,39 | 29,35 | 1,98 | 17,16 | 3,89 | 33,64 | 98,36 |

III.2.6 Protéines solubles

Cette fraction regroupe les protéines monomériques (albumines-globulines + gliadines) et les gluténines solubles. Les teneurs en cette fraction des géotypes étudiés sont regroupées dans le tableau n°12.

Ces teneurs varient entre 57,94 et 79,43% des protéines totales avec une moyenne de $64,99 \pm 6,08\%$. Ces valeurs sont de même ordre de grandeur que celles rapportées par **SAPIRSTEIN** et **FU** (1998) [57,2 à 69,6 %] ; **BOULOUZA** et **ZANAZ** (2010) [58,34 à 71,36 %] ; **LAKER** et **KEDDAR** (2011) [57,59 à 68,89 %] ; **BELALOUI** (2012) [59,44 et 73,91] ; **YOUYOU** (2012) [56,82 à 68,6%] et **PARK** et *al.* (2006) [50,4 à 62,8%].

III.2.7 Protéines polymériques

Les teneurs en protéines polymériques (protéines insolubles + gluténines solubles) sont données dans le tableau 12. Elles varient entre 41,77 et 52,52% avec une moyenne de $47,64 \pm 3,32\%$.

Ces valeurs sont de même ordre de grandeur que celles trouvées par **CUNIBERTI** et *al.* (2003) [32,3 à 59,7 %] ; **MAGHIRANG** et *al.* (2006) [48 à 58,4%] ; **BELALOUI** (2012) [37,26 à 53,73 %] et **YOUYOU** (2012) [44,71 à 52,69].

III.3 Les différents ratios protéiques calculés

Les différents ratios calculés sont regroupés avec les teneurs en protéines solubles et protéines polymériques dans le tableau 12.

III.3.1 Protéines solubles/Protéines polymériques

Les valeurs de ces ratios vont de 1,10 à 1,70 avec une moyenne de $1,37 \pm 0,18$.

III.3.2 Protéines solubles/Protéines insolubles

Les valeurs de ces ratios varient de 1,45 à 2,80 avec une moyenne de $1,98 \pm 0,38$. Elles sont du même ordre de grandeur que celles rapporté par **LAKER** et **KEDDAR** (2011) [1,57 à 2,26] ; **BELALOUI** (2012) [1,64 à 2,63]. Elles s'insèrent 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 polymériques

Ces ratios varient dans un intervalle de 0,86 à 1,58 avec une moyenne de $1,09 \pm 0,20$. Il est du même ordre de grandeur que celui rapporté par **BELALOUI** (2012) de 0,83 à 1,69.

III.3.4 Protéines monomériques/Protéines insolubles

Les valeurs de ce ratio vont de 1,11 à 2,15 avec une moyenne de $1,50 \pm 0,31$. Elles sont en accord général avec celles trouvées par **BELALOUI** (2012) qui sont de 1,26 à 2,25 (moyenne de 1,69).

III.3.5 Gliadines/Protéines polymériques

Les valeurs de ces ratios s'échelonnent de 0,58 à 0,87 avec une moyenne de $0,70 \pm 0,09$.

III.3.6 Gliadines/Protéines insolubles

Ces ratios varient dans un intervalle de 0,79 à 1,30 avec une moyenne de $1,01 \pm 0,16$. Ces valeurs sont voisines de celles rapportées par **LAKER** et **KEDDAR** (2011) [0,77 à 1,2 avec une moyenne de 0,99] et par **BELALOUI** (2012) [0,72 à 1,44 avec une moyenne de 1,01].

Tableau n°12: Teneurs en protéines solubles, en protéines polymériques et valeurs des différents ratios des fractions protéiques.

| Fractions - Ratios Génotypes | | P. Sol. | | P. Poly. | | P.Sol./ P.Poly. | P.Sol./ P.Ins. | P. Mon./ P.Poly. | P.Mon./ P.Ins. | Gli. / P.Poly. | Gli./ P.Ins. |
|---------------------------------|-----------------------------|---------|-------|----------|-------|--------------------|-------------------|---------------------|-------------------|-------------------|-----------------|
| | | % MS | % PT | % MS | % PT | | | | | | |
| Khroub | Hidhab | 7,88 | 68,57 | 4,92 | 42,82 | 1,60 | 2,45 | 1,25 | 1,92 | 0,81 | 1,24 |
| | Aïn Abid | 6,61 | 68,08 | 4,92 | 50,64 | 1,34 | 2,14 | 0,97 | 1,55 | 0,58 | 0,92 |
| | BACANORA 86//TAST/TORIA | 8,46 | 79,43 | 4,99 | 46,84 | 1,70 | 2,80 | 1,30 | 2,15 | 0,70 | 1,16 |
| | SERI82/SHUHA'S' | 7,52 | 59,70 | 6,12 | 48,57 | 1,23 | 1,69 | 0,96 | 1,31 | 0,80 | 1,10 |
| | KAUZ//PRL/VEE#6/3/BAV9 2 | 7,91 | 63,45 | 6,22 | 49,88 | 1,27 | 1,84 | 0,96 | 1,39 | 0,65 | 0,95 |
| | Kauz'S'/Prew | 8,32 | 67,44 | 6,17 | 50,02 | 1,35 | 1,85 | 1,08 | 1,48 | 0,71 | 0,98 |
| | ATTILA | 7,75 | 63,71 | 5,08 | 41,77 | 1,53 | 2,24 | 1,58 | 1,11 | 0,84 | 1,18 |
| | Florence aurore | 8,63 | 60,75 | 6,27 | 44,16 | 1,38 | 1,76 | 1,16 | 1,48 | 0,70 | 0,90 |
| Tiaret | Mahon Demias | 8,22 | 74,61 | 4,95 | 44,90 | 1,66 | 2,50 | 1,33 | 1,99 | 0,87 | 1,30 |
| | Anza | 8,24 | 67,18 | 5,50 | 44,86 | 1,50 | 2,14 | 1,20 | 1,71 | 0,79 | 1,13 |
| | Acsad Djanet | 8,92 | 57,94 | 8,08 | 52,52 | 1,10 | 1,45 | 0,86 | 1,14 | 0,60 | 0,79 |
| | Acsad rmada | 8,23 | 58,68 | 6,69 | 47,74 | 1,23 | 1,65 | 0,97 | 1,31 | 0,63 | 0,85 |
| | Acsad 901 | 7,35 | 61,37 | 5,70 | 47,59 | 1,29 | 1,75 | 1,02 | 1,39 | 0,72 | 0,98 |
| | Wifak | 8,44 | 59,36 | 7,32 | 51,51 | 1,15 | 1,57 | 0,88 | 1,21 | 0,58 | 0,80 |
| | Analpo | 7,48 | 64,72 | 5,87 | 50,80 | 1,27 | 1,92 | 0,94 | 1,41 | 0,58 | 0,87 |

En résumé, à partir des résultats d'analyses biochimiques, il en ressort que :

- Les génotypes étudiés présentent des teneurs en protéines totales allant de 9,71% à 15,39% (grammes de protéines dans 100 g de matière sèche) avec une moyenne de 12,10% \pm 1,35.
- Pour les 15 échantillons soumis au fractionnement séquentiel des protéines, ils ont présenté :
 - Des teneurs en protéines monomériques variant entre 45,30 et 60,97% avec une moyenne de 50,70 \pm 4,82% ;
 - Des teneurs en gliadines comprises entre 29,23 et 38,98% avec une moyenne de 33,48 \pm 3,22% ;
 - Des teneurs en albumines-globulines qui oscillent 7,68 et 28,18% avec une moyenne de 17,22 \pm 4,59% ;
 - Des teneurs en gluténines solubles allant de 9,69 et 18,76% avec une moyenne de 14,29 \pm 2,41% ;
 - Des teneurs en résidus protéiques insolubles variant entre 27,95 et 39,88 % avec une moyenne de 33,58 \pm 3,35% ;
 - Des teneurs en protéines solubles entre 57,94 et 79,43% avec une moyenne de 64,99 \pm 6,08%, et en protéines polymériques entre 41,77 et 52,52% avec une moyenne de 47,64 \pm 3,32%.

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

IV.1 Corrélations entre les résultats des différents tests technologiques (coefficient de corrélation de PEARSON « r »)

Les coefficients de corrélations de PEARSON calculés entre les résultats des différents tests technologiques sont regroupés dans le tableau n°13. De ce tableau il en ressort que :

- **La force boulangère (W)** est corrélée positivement et très significativement à la ténacité P, aux volumes de sédimentation SDS ($r = 0,8362$ et $r = 0,9397$, $n=22$ respectivement) et aux indices d'élasticité I_e ($r = 0,8766$, $n=20$). **BOCKSTAELE** et *al.* (2008) ont aussi rapporté que la force est corrélée à la ténacité et à l'indice d'élasticité I_e et cela de manière positive et très significative. **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 ($r = 0,8815$ et $r = 0,6801$ respectivement).

BAGHOUS (1998), **BELALOUI** (2012) et **YOUYOU** (2012) ont aussi rapporté des corrélations positives et très significatives entre la force W et la ténacité P.

SADOUKI (1985) a aussi rapporté des corrélations positives et hautement significatives entre la force W et les volumes de sédimentations SDS ($r = 0,530$).

- **La ténacité (P)** est corrélée positivement et très significativement aux indices d'élasticité I_e ($r = 0,7719$, $n=20$) et aux volumes de sédimentation SDS ($r = 0,7588$, $n=22$), positivement et de manière hautement significative au rapport de configuration P/L ($r = 0,5780$, $n=22$).

BAGHOUS (1998) a rapporté des corrélations positives et hautement significatives entre la ténacité et le rapport de configuration P/L ($r = 0,518$) ; **BOCKSTAELE** et *al.* (2008) ; **SADOUKI** et *al.* (2006) ; **BELALOUI** (2012) et **YOUYOU** (2012) ont aussi trouvé des corrélations positives et très significatives entre ces deux paramètres alvéographiques.

- **L'extensibilité (L)** est corrélée positivement et très significativement au gonflement G ($r = 0,9954$, $n=22$), positivement et significativement aux volumes de sédimentation SDS ($r= 0,5065$, $n=22$), négativement et de manière très significative au rapport de configuration P/L ($r = - 0,8069$, $n=22$).
- **Le gonflement (G)** est corrélé positivement et de manière juste significative aux volumes de sédimentation SDS ($r= 0,5181$, $n=22$) et négativement et très significativement au rapport de configuration P/L ($r= -0,8207$, $n=22$).

SADOUKI (1985) a aussi rapporté des corrélations positives et significatives entre le gonflement et les volumes de sédimentations SDS ($r= 0,507$).

SADOUKI et *al.* (2006), **BELALOU** (2012) et **YOUYOU** (2012) ont aussi rapporté des corrélations négatives et très significatives entre le gonflement (G) et Le rapport de configuration (P/L) ($r = -0,8390$, $r = - 0,8605$ et $r = - 0,7826$ respectivement).

- Des corrélations positives et très significatives ont été trouvées entre l'indice d'élasticité Ie et les volumes de sédimentation SDS ($r= 0,9046$, $n=20$).

Il en va un peu de même pour les coefficients de corrélations de PEARSON calculés entre les résultats des différents tests technologiques des **15** échantillons de blé choisis pour le fractionnement séquentiel, excepté des corrélations entre l'extensibilité L et les volumes de sédimentation SDS et entre ces derniers et le gonflement G qui deviennent non significatives.

Tableau n°13: Corrélations entre les paramètres technologiques (coefficient de **PEARSON** « r »).

| | Nombre d'échantillons | W (10-4J) | P(mmH2O) | L (mm) | G (cm3) | SDS |
|------------------|-----------------------|-----------|-----------|------------|------------|-----------|
| P (mmH2O) | n =22 | 0,8362*** | | | | |
| | n=15 | 0,8609*** | | | | |
| G (cm3) | n=22 | | | 0,9954*** | | |
| | n=15 | | | 0,9951*** | | |
| P/L | n=22 | | 0,5780** | -0,8069*** | -0,8207*** | |
| | n=15 | | 0,6300** | -0,8057*** | -0,8122*** | |
| Ie (%) | n=20 | 0,8766*** | 0,7719*** | | | 0,9046*** |
| | n=14 | 0,8651*** | 0,7795*** | | | 0,9412*** |
| SDS | n=22 | 0,9397*** | 0,7588*** | 0,5065* | 0,5181* | |
| | n=15 | 0,9559*** | 0,8218*** | | | |

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

IV.2 Corrélations entre les teneurs en protéines totales et les teneurs en protéines des différentes fractions protéiques (coefficient de corrélation de PEARSON « r » et coefficient de corrélation de rang ou de SPEARMAN « r' »)

L'analyse du tableau n°14 fait ressortir :

- ❖ Les teneurs en protéines exprimées en % de MS de la plupart des fractions protéiques sont corrélées positivement et de manière significative à très significative aux teneurs en protéines totales des farines.

Ainsi les teneurs en protéines monomériques, en gliadines et en protéines solubles (en % de MS) sont associées positivement et de manière hautement significative avec les teneurs en protéines totales ($r = 0,6676$, $r = 0,7073$ et $r = 0,6738$ respectivement). Les teneurs en protéines des protéines solubles et des gliadines (en % de MS) présentent des coefficients de corrélation de Spearman significatifs à hautement significatifs avec les teneurs en protéines totales ($r' = 0,5464$ et $r' = 0,6613$ respectivement)

Les teneurs en protéines insolubles et en protéines polymériques exprimées en % de MS sont corrélées positivement et très significativement aux teneurs en protéines totales ($r = 0,9554$; $r' = 0,9508$ et $r = 0,9161$; $r' = 0,9311$ respectivement).

- ❖ La majorité des corrélations obtenues entre les teneurs en protéines exprimées en % de PT des fractions protéiques et les teneurs en protéines totales sont négatives et significatives à très significatives, à l'exception des teneurs en protéines insolubles (exprimées en % de PT) qui ont présenté des corrélations positives et très significatives avec les teneurs en protéines totales ($r = 0,7756$; $r' = 0,7821$).

Ainsi les teneurs en protéines des gluténines solubles et des protéines solubles (en % PT) sont associées négativement et très significativement aux teneurs en protéines totales ($r = - 0,7733$ et $r = - 0,7646$), les teneurs en protéines monomériques (en % PT) sont corrélées négativement et de manière juste significative aux teneurs en protéines totales ($r = - 0,5758$).

Il en va un peu de même pour les corrélations de Spearman, les teneurs en protéines des albumines-globulines, des gluténines solubles, des protéines monomériques et des protéines solubles (en % PT) sont associées négativement et de manière significative à très significative aux teneurs en protéines totales ($r' = - 0,5357$, $r' = - 0,6893$, $r' = - 0, 6571$ et $r' = - 0,8857$ respectivement).

Autrement dit les teneurs en gluténines solubles, protéines monomériques et en protéines solubles exprimées en % de protéines totales diminuent quand les teneurs en protéines totale augmentent.

CIAFFI et *al.* (1996) ont également trouvé que les protéines monomériques et les protéines insolubles dans la farine sont corrélés positivement et significativement aux teneurs en protéines.

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

PARK et *al.* (2006) ont rapporté des corrélations positives et significatives à très significatives entre les teneurs en protéines totales et les teneurs en protéines solubles totales, les teneurs en albumine-globulines, les teneurs en gliadines, les teneurs en protéines polymériques solubles et les teneurs en protéines polymériques insolubles dans la farine.

- ❖ Les ratios des protéines solubles par rapport aux protéines polymériques et par rapport aux protéines insolubles sont corrélés négativement et de manière hautement à très significativement aux teneurs en protéines totales ($r = -0,6425$; $r' = - 0,7048$ et $r = - 0,7675$; $r' = - 0,8525$ respectivement).
 - ❖ Les ratios des protéines monomériques par rapport aux protéines insolubles sont corrélés négativement et de manière hautement significative aux teneurs en protéines totales ($r = - 0,6872$).
- Les teneurs en protéines totales présentent des coefficients de corrélations de Spearman négatives et significatives à très significatives avec les ratios des protéines monomériques par rapport aux protéines polymériques et par rapport aux protéines insolubles ($r' = - 0,5724$ et $r' = - 0,7860$ respectivement)
- ❖ Les ratios des gliadines par rapport aux protéines insolubles sont corrélés négativement et significativement aux teneurs en protéines totales ($r = -0,5846$; $r' = - 0,6380$).

A partir de ces résultats, on en déduit que l'augmentation des teneurs en protéines totales engendre l'augmentation des différentes fractions protéiques exprimées en % de M.S, cependant les teneurs en gluténines solubles, en protéines monomériques et en protéines solubles exprimées en % de protéines totales diminuent avec l'augmentation des teneurs en protéines totales des échantillons.

Tableau n°14 : Corrélations entre les teneurs en protéines totales et les différentes fractions protéiques (coefficient de PEARSON « r » et coefficient de SPEARMAN « r' », n=15).

| | PT | |
|--------------------------|------------|------------|
| | « r » | « r' » |
| P.Ins.% MS | 0,9554*** | 0,9508*** |
| P.Ins.% PT | 0,7756*** | 0,7821*** |
| Glu. Sol. % MS | | |
| Glu. Sol. % PT | -0,7733*** | -0,6893** |
| P. Mon.% MS | 0,6676** | |
| P. Mon.% PT | -0,5758* | -0,6571** |
| Gli.% MS | 0,7073** | 0,6613** |
| Gli.% PT | | |
| A.G.% MS | | |
| A.G.% PT | | -0,5357* |
| P.Sol.% MS | 0,6738** | 0,5464* |
| P.Sol.% PT | -0,7646*** | -0,8857*** |
| P. Poly.% MS | 0,9161*** | 0,9311*** |
| P. Poly.% PT | | |
| P. Sol. /P. Poly. | -0,6425** | -0,7048** |
| P. Sol./ P. Ins. | -0,7675*** | -0,8525*** |
| P.Mon./P.Poly. | | -0,5724* |
| P.Mon./P.Ins. | -0,6872** | -0,7860*** |
| Gli./P.Poly. | | |
| Gli./P.Ins. | -0,5846* | -0,6380* |

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

IV.3 Corrélations entre les paramètres technologiques et les teneurs en protéines des différentes fractions protéiques et leurs ratios (coefficient de corrélation de PEARSON « r » et coefficient de corrélation de rang ou de SPEARMAN « r' »)

IV.3.1 Relations entre les paramètres technologiques et les teneurs en protéines des différentes fractions protéiques

Les tableaux n°15 et n°16 rassemblent respectivement les résultats des corrélations de PEARSON et de SPEARMAN obtenues entre les paramètres technologiques et les teneurs en protéines des différentes fractions protéiques ainsi que leurs ratios. De ces tableaux, il en ressort que :

- ❖ Les teneurs en **protéines totales** sont corrélées positivement et très significativement aux W alvéographiques et aux volumes de sédimentation SDS ($r = 0,8846$; $r' = \mathbf{0,8964}$ et $r = 0,8731$; $r' = \mathbf{0,8857}$ respectivement) et positivement et d'une manière hautement significative à la ténacité P et aux indices d'élasticité Ie ($r = 0,7150$; $r' = \mathbf{0,6649}$ et $r = 0,7548$; $r' = \mathbf{0,7518}$ respectivement).

Des corrélations positives et significatives à très significatives entre les force W et les teneurs en protéines totales ont été aussi rapportées par **RASPER** et *al.* (1986), **ADDO** et *al.* (1990), **BOCKSTAELE** et *al.* (2008).

Par contre **BORDES** et *al.* (2008) ont trouvé que les teneurs en protéines ne sont pas liées significativement à la force, mais qu'elles sont associées positivement et significativement aux ténacités (P) et négativement et de manière hautement significative à l'indice d'élasticité (Ie).

Contrairement à nos résultats, **DOBRASZCZYK** et **SCHOFIELD** (2002) ont trouvé des faibles corrélations entre les teneurs en protéines totales et les volumes de sédimentation SDS.

- ❖ Les teneurs en **protéines insolubles** par rapport à la matière sèche sont corrélées positivement et très significativement aux W alvéographiques, aux ténacités P, aux indices d'élasticité Ie et aux volumes de sédimentation SDS ($r = 0,9326$; $r' = \mathbf{0,9276}$, $r = 0,7670$; $r' = \mathbf{0,7110}$, $r = 0,7745$; $r' = \mathbf{0,8215}$ et $r = 0,9139$; $r' = \mathbf{0,9294}$ respectivement).

- ❖ Les teneurs en **protéines insolubles** par rapport aux protéines totales sont corrélées positivement et très significativement aux W alvéographiques et aux volumes de sédimentation SDS ($r = 0,8543$; $r^2=0,8321$ et $r = 0,8604$; $r^2=0,8214$ respectivement), et positivement et de manière hautement significative aux ténacités P et aux indices d'élasticité Ie ($r = 0,7184$; $r^2=0,7292$ et $r = 0,7004$; $r^2=0,6962$ respectivement).

Des corrélations positives entre les teneurs en protéines insolubles dans le propanol-1 à 50% dans la farine ou par rapport aux protéines totales et plusieurs paramètres de la force boulangère appréciée par le mixographe, l'extensigraphe ou le volume du pain ont été rapportées par plusieurs auteurs (**SAPIRSTEIN** et **FU**, 1998 ; **BEAN** et *al.*, 1998 et **SUCHY** et *al.*, 2007).

Des corrélations positives et très significatives entre les teneurs en protéines insolubles exprimées en % de MS de la farine et les volumes de sédimentation SDS ont été rapportées par **LAKER** et **KEDDAR** (2001) [$r = 0,8689$], inversement **YOUYOU** (2012) a rapporté des corrélations négatives et significatives entre ces deux paramètres ($r = -0,3763$).

- ❖ Les teneurs en **gluténines solubles** par rapport à la matière sèche sont corrélées positivement et significativement aux rapports de configurations P/L ($r = 0,5739$; $r^2=0,6404$).
- ❖ Les teneurs en protéines de cette fraction exprimée en pourcentage de protéines totales sont corrélées négativement et significativement aux W alvéographiques, aux volumes de sédimentation SDS et aux indices d'élasticité Ie ($r = -0,5322$; $r^2 = -0,6393$, $r = -0,6374$; $r^2 = -0,6679$ et $r = -0,5714$; $r^2 = -0,6386$ respectivement) et négativement et de manière significative à hautement significative aux extensibilités L et aux gonflements G ($r = -0,6444$; $r^2 = -0,6363$ et $r = -0,6685$; $r^2 = -0,6321$ respectivement).

YOUYOU (2012) a rapporté des corrélations positives et significatives entre les teneurs en gluténines solubles par rapport à la matière sèche et le rapport de configuration (P/L) ($r = 0,3708$), et des corrélations positives et hautement significatives entre cette fraction exprimée en pourcentage de protéines totales et le test SDS ($r = 0,5381$).

BELALOUI (2012) n'a trouvé aucune corrélation significative entre les gluténines solubles exprimées en pourcentage de protéines totales et les paramètres alvéographiques, mais exprimées en pourcentage de la matière sèche les gluténines solubles sont liées positivement et de manière significative aux rapports de configuration P/L ($r = 0,4697$) et négativement aux extensibilités et aux gonflements et cela de manière hautement significative et significative respectivement ($r = -0,4609$ et $r = -0,4352$ respectivement).

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 monomériques** exprimées en pourcentage de la matière sèche ne sont pas associées significativement aux paramètres technologiques. Par contre les teneurs en **protéines monomériques** exprimées en pourcentage des protéines totales sont associées négativement et très significativement aux W alvéographiques et aux volumes de sédimentation SDS ($r = -0,7633$; $r^2 = -0,8429$ et $r = -0,8481$; $r^2 = -0,8464$ respectivement) et négativement et de manière significative à hautement significative aux ténacité P et aux indices d'élasticité I_e ($r = -0,6289$; $r^2 = -0,7203$ et $r = -0,7081$; $r^2 = -0,6006$ respectivement).

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 montré que l'augmentation des teneurs en protéines monomériques, engendre l'augmentation de l'extensibilité à la rupture ($Ext_{rupture}$).

BELALOUI (2012) a rapporté que 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 ($r = -0,4971$). Inversement **YOUYOU** (2012) a rapporté des corrélations positives et hautement significatives entre les teneurs en protéines monomériques par rapport aux protéines totales et la ténacité P ($r = 0,4718$).

LAKER et **KEDDAR** (2011) ont aussi trouvé que les teneurs en protéines monomériques par rapport aux protéines totales sont reliées de façon négative et significative aux volumes de

sédimentation SDS ($r = -0,5802$). Au contraire **BOULOUZA** et **ZANAZ** (2010) ont rapporté que les protéines monomériques exprimées en % de MS de la farine ou en % de protéines totales sont associées positivement et de façon hautement significative et significative avec les volumes de sédimentation SDS.

- ❖ Les teneurs en **gliadines** exprimées en pourcentage de la matière sèche sont associées positivement et de manière très significative (coefficient de corrélation de PEARSON) et hautement significative (coefficient de corrélation de Spearman) aux extensibilités L et aux gonflements G ($r = 0,7697$; $r^2 = 0,6601$ et $r = 0,7652$; $r^2 = 0,6613$ respectivement).
- ❖ Les teneurs en **gliadines** par rapport aux protéines totales sont corrélées négativement et de manière hautement significatives à la ténacité P et aux rapports de configuration P/L ($r = -0,7053$; $r^2 = -0,6917$ et $r = -0,7316$; $r^2 = -0,7096$ respectivement) mais positivement et de manière significative aux extensibilités L et aux gonflements G ($r = 0,5437$ et $r = 0,5193$; $r^2 = 0,5143$ respectivement).

BELALOUI (2012) a aussi rapporté des corrélations négatives et significatives entre les teneurs en gliadines par rapport aux protéines totales et la ténacité P ($r = -0,4094$).

SADOUKI et *al.* (2006) ont trouvé des corrélations négatives et significatives entre les teneurs en gliadines et le gonflement G et l'extensibilité L ($r = -0,5583$ et $r = -0,5179$ respectivement).

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

- ❖ Les teneurs en **albumines/globulines** exprimées en pourcentage de la matière sèche sont corrélées négativement et de manière hautement significative aux extensibilités L et aux gonflements G ($r = -0,6888$ et $r = -0,6731$ respectivement) et positivement et significativement aux rapports de configurations P/L ($r = 0,5429$).
- ❖ Les teneurs en **albumines/globulines** par rapport aux protéines totales sont corrélées négativement et de manière significative aux W alvéographique (coefficient de

corrélation de Spearman, $r^2 = -0,5750$) et aux volumes de sédimentation SDS ($r = -0,5919$; $r^2 = -0,6000$).

Les teneurs en protéines de cette fraction sont corrélées négativement de manière très significative (coefficient de corrélation de PEARSON) et hautement significative (coefficient de corrélation de Spearman) aux extensibilités L et aux gonflements G ($r = -0,8278$; $r^2 = -0,6899$ et $r = -0,8278$; $r^2 = -0,6750$ respectivement).

PARK et *al.* (2006) ont trouvé que les teneurs en albumine-globuline exprimée en pourcentage des protéines totales sont associées négativement et de façon très significative au volume du pain ($r = -0,62$).

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

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 **protéines solubles** exprimées en pourcentage de la matière sèche ne sont associées significativement à aucun paramètre technologique.
- ❖ Les teneurs en **protéines solubles** par rapport aux protéines totales sont corrélées négativement et de manière très significative aux W alvéographiques, aux indices d'élasticité et aux volumes de sédimentation SDS ($r = -0,8175$; $r^2 = -0,9464$, $r = -0,8671$; $r^2 = -0,7986$ et $r = -0,9266$; $r^2 = -0,9571$ respectivement) et négativement et significativement aux ténacités P, aux extensibilités L et aux gonflements G ($r = -0,6035$; $r^2 = -0,6828$, $r = -0,5838$ et $r = -0,6067$ respectivement).

Beaucoup d'auteurs ont rapporté que les teneurs en protéines solubles sont associées négativement et significativement aux paramètres de force de la pâte (temps de développement de la pâte au mixographe, W alvéographique....)

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 %.

YOUYOU (2012) et **BELALOUI** (2012) ont rapporté que les teneurs en protéines solubles par rapport aux protéines totales sont corrélées négativement et de manière significative à hautement significative aux W alvéographiques ($r = -0,4503$, $r = -0,4931$ respectivement).

PARK et *al.* (2006) ont rapporté que les teneurs en protéines solubles dans la farine ou en pourcentage des protéines totales sont associées positivement et de façon très significative au volume du pain ($r = 0,85$ et $r = 0,52$ respectivement).

- ❖ Les teneurs en **protéines polymériques** exprimées en pourcentage de la matière sèche sont corrélées positivement et très significativement aux W alvéographique, à la ténacité P et aux volumes de sédimentation SDS ($r = 0,9373$; $r^2 = \mathbf{0,9097}$, $r = 0,8161$; $r^2 = \mathbf{0,8014}$ et $r = 0,8850$; $r^2 = \mathbf{0,9097}$ respectivement) et positivement et de manière hautement significative ($r = 0,7244$) à très significative ($r^2 = \mathbf{0,7949}$) aux indices d'élasticité Ie.
- ❖ Les teneurs en **protéines polymériques** par rapport aux protéines totales sont corrélées positivement et significativement aux W alvéographique ($r = 0,5279$) et positivement et de manière significative ($r = 0,5936$) à hautement significative ($r^2 = \mathbf{0,6881}$) à la ténacité P.

CIAFFI et *al.* (1996) qui ont trouvé que les protéines polymériques expliquent 53% et 49% des variations de la force et de la ténacité respectivement.

TSILO et *al.* (2010) ont trouvé des corrélations positives et significatives entre les protéines polymériques et les temps de développement des pâtes, la ténacité P et le rapport de configuration P/L.

IV.3.2 Relations entre les paramètres technologiques et les différents ratios protéiques calculés

Concernant les différents ratios calculés, il ressort des tableaux n°15 et 16 que :

- ❖ Les ratios **protéines solubles / protéines polymériques** ainsi que les ratios **protéines solubles / protéines insolubles** sont corrélés négativement et très significativement aux W alvéographiques ($r = -0,8394$; $r^2 = -0,8694$ et $r = -0,8580$; $r^2 = -0,9454$ respectivement) et aux volumes de sédimentation SDS ($r = -0,8754$; $r^2 = -0,8605$ et $r = -0,9273$; $r^2 = -0,9329$ respectivement) et négativement et de manière hautement significative aux ténacités P ($r = -0,7545$; $r^2 = -0,7959$ et $r = -0,7187$; $r^2 = -0,7602$ respectivement).

Les indices d'élasticité sont corrélés négativement et de manière significative ($r^2 = -0,6317$) à très significative ($r = -0,8222$) aux ratios protéines solubles / protéines polymériques et négativement et de manière significative ($r = -0,5747$) à très significative ($r^2 = -0,8149$) aux ratios protéines solubles / protéines insolubles.

LAKER et **KEDDAR** (2011), **BELALOU**I (2012) ont trouvé que ces ratios sont associés négativement et significativement à très significativement à la force boulangère appréciée par le mixographe ou l'alvéographe.

- ❖ Les ratios **protéines monomériques / protéines polymériques** sont corrélés négativement et de manière hautement significative aux W alvéographiques ($r = -0,7346$; $r^2 = -0,7602$), négativement et de manière hautement significative ($r = -0,6739$) à très significative ($r^2 = -0,7770$) aux ténacités P, négativement et de manière juste significative aux indices d'élasticité Ie ($r^2 = -0,5190$) et négativement et de manière hautement significative ($r^2 = -0,7513$) à très significative ($r = -0,7642$) aux volumes de sédimentation SDS.

YOUYOU (2012) a rapporté que ces ratios sont corrélés négativement et significativement avec la force boulangère (W) et négativement et de façon hautement significative avec l'indice d'élasticité (Ie), **BELALOU**I (2012) a aussi trouvé que ce ratio était corrélé négativement et de façon hautement significative aux W alvéographiques et de façon significative aux ténacités P et aux indices d'élasticité Ie.

- ❖ Les ratios **protéines monomériques / protéines insolubles** sont corrélés négativement et très significativement aux W alvéographiques, à la ténacité P, aux indices d'élasticité Ie et aux volumes de sédimentation SDS ($r = -0,8201$; $r^2 = -0,9167$, $r = -0,6872$; $r^2 = -0,7679$, $r = -0,7527$; $r^2 = -0,7373$ et $r = -0,8926$; $r^2 = -0,9149$ respectivement).

BELALOU (2012) a rapporté que 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 ($r = -0,6067$), **LAKER** et **KEDDAR** (2011) ont signalé des relations négatives et très significatives entre ces ratios et les volumes de sédimentation SDS ($r = -0,8141$). Inversement **YOUYOU** (2012) a rapporté des corrélations positives et hautement significative entre ces ratios et la force boulangère (W) et le test de sédimentation SDS ($r = 0,5252$ et $r = 0,4499$ respectivement).

- ❖ Les ratios **gliadines / protéines polymériques** sont liés négativement et significativement avec les W alvéographiques ($r = -0,5501$), négativement et très significativement à la ténacité P ($r = -0,7647$; $r^2 = -0,8325$), et négativement et d'une manière hautement significative ($r = -0,7094$) à très significative ($r^2 = -0,8003$) aux rapports de configuration P/L.
- ❖ Les ratios **gliadines /protéines insolubles** sont négativement et très significativement corrélés aux W alvéographiques, à la ténacité P et aux volumes de sédimentation SDS ($r = -0,7811$; $r^2 = -0,8185$, $r = -0,8663$; $r^2 = -0,9284$ et $r = -0,7868$; $r^2 = -0,8078$ respectivement), négativement et de manière hautement significative aux indices d'élasticité Ie ($r = -0,7302$; $r^2 = -0,7201$), et négativement et de manière juste significative aux rapports de configuration P/L ($r^2 = -0,6207$).

Tableau n°15 : Coefficients de corrélation entre les paramètres technologiques et les teneurs en protéines des différentes fractions protéiques (**coefficient de corrélation de PEARSON « r », n=15**).

| | W | P | L | G | P/L | Ie | SDS |
|-------------------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|
| PT % | 0,8846*** | 0,7150** | | | | 0,7548*** | 0,8731*** |
| P.Ins.% MS | 0,9326*** | 0,7670*** | | | | 0,7745*** | 0,9139*** |
| P.Ins.% PT | 0,8543*** | 0,7184** | | | | 0,7004** | 0,8604*** |
| Glu.Sol. % MS | | | | | 0,5739* | | |
| Glu.Sol. % PT | -0,5322* | | -0,6444** | -0,6685** | | -0,5714* | -0,6374* |
| P.Mon. % MS | | | | | | | |
| P.Mon. % PT | -0,7633*** | -0,6289* | | | | -0,7081** | -0,8481*** |
| Gli.%MS | | | 0,7697*** | 0,7652*** | | | |
| Gli.% PT | | -0,7053** | 0,5437* | 0,5193* | -0,7316** | | |
| A.G.% MS | | | -0,6888** | -0,6731** | 0,5429* | | |
| A.G.% PT | | | -0,8278*** | -0,8278*** | | | -0,5919* |
| P.Sol.% MS | | | | | | | |
| P.Sol.% PT | -0,8175*** | -0,6035* | -0,5838* | -0,6067* | | -0,8671*** | -0,9266*** |
| P. Poly.% MS | 0,9373*** | 0,8161*** | | | | 0,7244** | 0,8850*** |
| P.Poly.% PT | 0,5279* | 0,5936* | | | | | |
| P.Sol. /P.Poly. | -0,8394*** | -0,7545** | | | | -0,8222*** | -0,8754*** |
| P.Sol. / P. Ins. | -0,8580*** | -0,7187** | | | | -0,5747* | -0,9273*** |
| P.Mon./P.Poly. | -0,7346** | -0,6739** | | | | | -0,7642*** |
| P.Mon./P.Ins. | -0,8201*** | -0,6872** | | | | -0,7527** | -0,8926*** |
| Gli./P.Poly. | -0,5501* | -0,7647*** | | | -0,7094** | | |
| Gli./P.Ins. | -0,7811*** | -0,8663*** | | | | -0,7302** | -0,7868*** |

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

Tableau n°16 : Coefficients de corrélations entre les paramètres technologiques et les teneurs en protéines des différentes fractions protéiques (**coefficient de corrélation de SPEARMAN« r' »**, n=15).

| | W | P | L | G | P/L | Ie | SDS |
|--------------------------|------------|------------|-----------|-----------|------------|------------|------------|
| P.T. % | 0,8964*** | 0,6649** | | | | 0,7518** | 0,8857*** |
| P.Ins.% MS | 0,9276*** | 0,7110** | | | | 0,8215*** | 0,9294*** |
| P.Ins.% PT | 0,8321*** | 0,7292** | | | | 0,6962** | 0,8214*** |
| Glu.Sol. % MS | | | | | 0,6404* | | |
| Glu.Sol. % PT | -0,6393* | | -0,6363* | -0,6321* | | -0,6386* | -0,6679** |
| P.Mon. % MS | | | | | | | |
| P.Mon. % PT | -0,8429*** | -0,7203** | | | | -0,6006* | -0,8464*** |
| Gli.% MS | | | 0,6601** | 0,6613** | | | |
| Gli.% PT | | -0,6917** | | 0,5143* | -0,7096** | | |
| A.G. % MS | | | | | | | |
| A.G. % PT | -0,5750* | | -0,6899** | -0,6750** | | | -0,6000* |
| P.Sol. % MS | | | | | | | |
| P.Sol. % PT | -0,9464*** | -0,6828* | | | | -0,7986*** | -0,9571*** |
| P. Poly. % MS | 0,9097*** | 0,8014*** | | | | 0,7949*** | 0,9097*** |
| P. Poly. % PT | | 0,6881** | | | | | |
| P. Sol./P. Poly. | -0,8694*** | -0,7959*** | | | | -0,6317* | -0,8605*** |
| P. Sol. / P. Ins. | -0,9454*** | -0,7602** | | | | -0,8149*** | -0,9329*** |
| P.Mon./P.Poly. | -0,7602** | -0,7770*** | | | | -0,5190* | -0,7513** |
| P.Mon./P.Ins. | -0,9167*** | -0,7679*** | | | | -0,7373** | -0,9149*** |
| Gli./P.Poly. | | -0,8325*** | | | -0,8003*** | | |
| Gli./P.Ins. | -0,8185*** | -0,9284*** | | | -0,6207* | -0,7201** | -0,8078*** |

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

En résumé, à partir de l'analyse des corrélations qui existent entre les paramètres technologiques et les différentes fractions protéiques, il en ressort que :

- Les W alvéographiques, les ténacités P, les indices d'élasticité Ie et les volumes de sédimentation SDS sont associés positivement et de façon hautement significative à très significative aux teneurs en protéines totales, aux teneurs en protéines insolubles (exprimées en pourcentage de MS ou de PT) et aux teneurs en protéines polymériques exprimées en pourcentage de MS.
Ces paramètres (W, P, Ie et SDS) sont par contre associés négativement et de façon significative à très significative aux teneurs en gluténines solubles, aux teneurs en protéines monomériques et aux teneurs en protéines solubles (exprimée en pourcentage de PT).
- Les extensibilités L ou les gonflements G sont associées positivement et très significativement aux teneurs en gliadines exprimées en pourcentage de MS et positivement et de façon significative aux teneurs en gliadines exprimées en % de PT.
Ces deux paramètres alvéographiques sont par contre négativement corrélés et de façon hautement significative à très significative aux teneurs en albumines-globulines (exprimées en % de MS ou de PT respectivement).
- Enfin les W alvéographiques, les ténacités P, les indices d'élasticité Ie et les volumes de sédimentation SDS sont associés négativement et de façon significative à très significative aux différents ratios calculés comportant les fractions négativement associés à ces paramètres (P. Sol. /P. Poly. ; P. Sol. / P. Ins. ; P.Mon./P.Poly. ; P.Mon./P.Ins. ; Gli./P.Poly. ; Gli./P.Ins.).

V. ELECTROPHORESE

V.1 Electrophorèse des gliadines

La figure n°11 montre la séparation électrophorétique obtenue en A-PAGE des gliadines de nos farines.

Le gel contient 12 diagrammes électrophorétiques de trois variétés injectés dans l'ordre suivant : Mahon demias, Anza et Florence aurore. A chaque variété correspond 4 diagrammes dont chacun correspond à une méthode d'extraction utilisée.

Le but de l'utilisation de trois méthodes d'extraction est de comparer la pureté des différentes fractions protéiques extraites et donc savoir quelle est la méthode qui extrait sélectivement les gliadines et les albumines-globulines.

L'examen de ces diagrammes électrophorétique, fait ressortir que :

- La fraction soluble dans l'éthanol à 70% (ligne1) extraite suivant le protocole de **KHAN** et *al.* (1985), contient les gliadines et les albumines-globulines. Ce premier diagramme est complet et servira comme référence pour évaluer la pureté des différentes fractions protéiques extraite par les autres méthodes utilisées.
- La fraction salino-soluble (ligne2) extraite suivant la méthode de **FU** et **SAPIRSTEIN** (1996), contient les albumines-globulines mais elle est fortement contaminée par les gliadines.

FU et **SAPIRSTEIN** (1996), en comparant les diagrammes électrophorétique de la fraction salino-soluble et la fraction soluble dans le propanol-1 à 50%, trouvent que la fraction salino-soluble était contaminée par les gliadines.

En utilisant la solution Kcl-TRIS-EDTA pour extraire les albumines-globulines avant l'extraction des gliadines par le propanol-1 à 50%, **DUPONT** et *al.* (2005) montrent que la solution saline extrait aussi les α -, β - et les ω -gliadines et estiment que ces derniers représentent jusqu'à 50% des extraits salino-solubles.

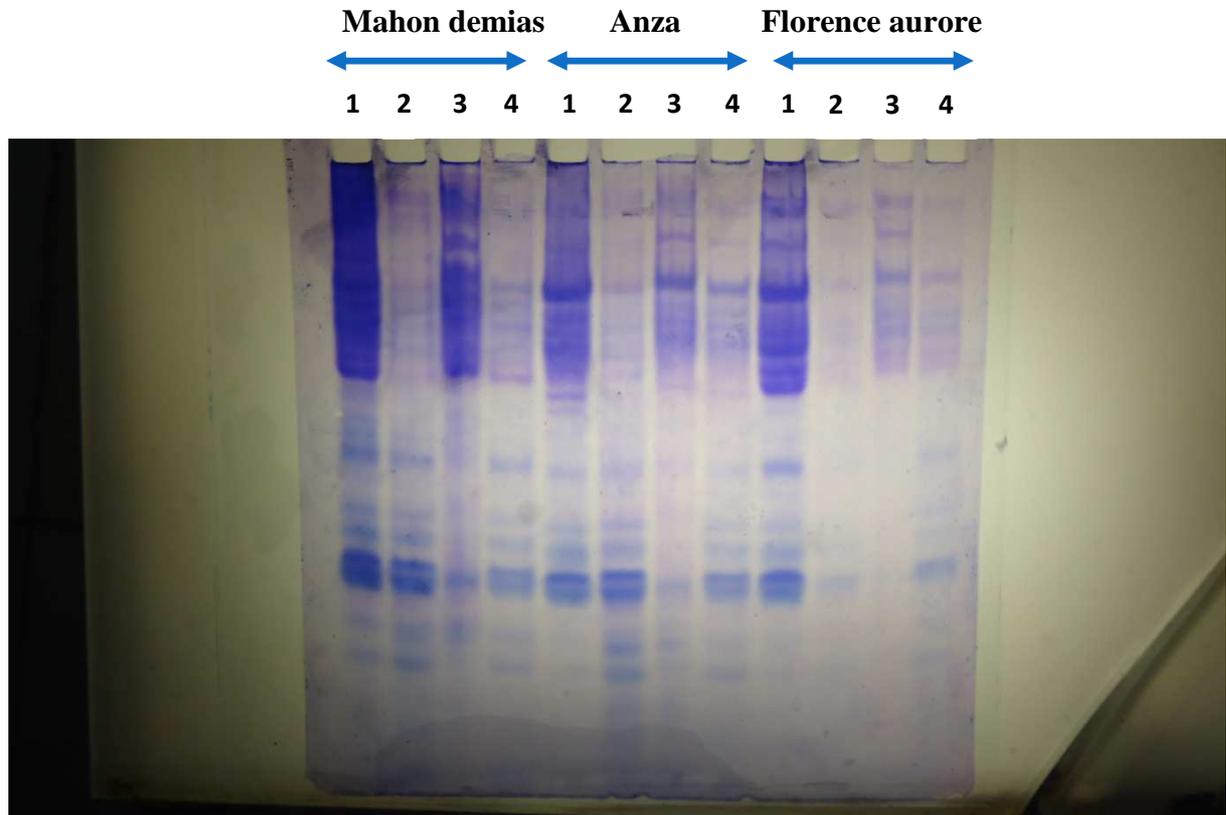
Les lignes **3** et **4** correspondent respectivement à la fraction gliadine et à la fraction albumine-globuline extraites suivant la méthode de **DUPONT** et *al.* (2005), on remarque que :

- La fraction gliadine contient des albumines-globulines, donc à partir du surnageant des protéines monomériques, une partie des albumines-globulines co-précipite avec les gliadines.
- La fraction albumine-globuline est fortement contaminée par les gliadines, donc la précipitation des gliadines à partir du surnageant des protéines monomériques n'est pas complète.

En analysant ces deux fractions par RP-HPLC, **DUPONT** et *al.* (2005) trouvent que la fraction albumine-globuline contient peu de gliadine et représente approximativement 10% des protéines totales de la farine, et que la fraction gliadine contient principalement des gliadines avec une faible contamination par les albumines-globulines et les gluténines et représente 40% des protéines totales de la farine. Ces auteurs ont rapporté que leurs méthode sous estime les albumines-globulines et surestime les gliadines.

- A partir de ces résultats, on peut constater que les gliadines reconnus selon la définition d'**OSBORNE** (1907) comme étant la fraction soluble dans les solutions alcooliques sont aussi légèrement solubles dans les solutions salines. Ainsi les fractions gliadines et albumines-globulines extraite suivant la méthode de **DUPONT** et *al.* (2005) n'étaient pas pures, ceci peut être du à la méthode qui n'a pas permis une recouvrance maximale des différents types protéiques du fait d'un chevauchement entre les fractions gliadines et albumines-globulines.

Figure n° 11 : Electrophorèse des gliadines (A-PAGE) ; gel à 1,5 mm d'épaisseur ; temps de migration 100 minutes à 30mA.



Ligne 1 : protéines solubles dans l'éthanol à 70% extraite suivant la méthode de **KHAN** et *al.* (1985).

Ligne 2 : protéines salino-soluble extraite suivant la méthode de **FU** et **SAPIRSTEIN** (1996).

Ligne 3 : fraction gliadine extraite suivant la méthode de **DUPONT** et *al.* (2005).

Ligne 4 : fraction albumine-globuline extraite suivant la méthode de **DUPONT** et *al.* (2005).

V.2 Electrophorèse des gluténines solubles

La figure n°12 illustre le fractionnement électrophorétique de gluténines solubles par SDS-PAGE, l'examen de ces diagrammes électrophorétique fait ressortir que :

- Les bandes lentes correspondent aux sous unités gluténines HPM tandis que les bandes intermédiaires et rapides correspondent aux sous unités gluténines FPM, on remarque que la fraction des gluténines solubles contient plus de protéines FPM qu'HPM (sous unité plus nombreuses et plus concentrées).

DON et al. (2006) ont rapporté que la composition en sous unités de gluténines HPM affecte les propriétés technologiques des farines à travers la taille moléculaire des gluténines.

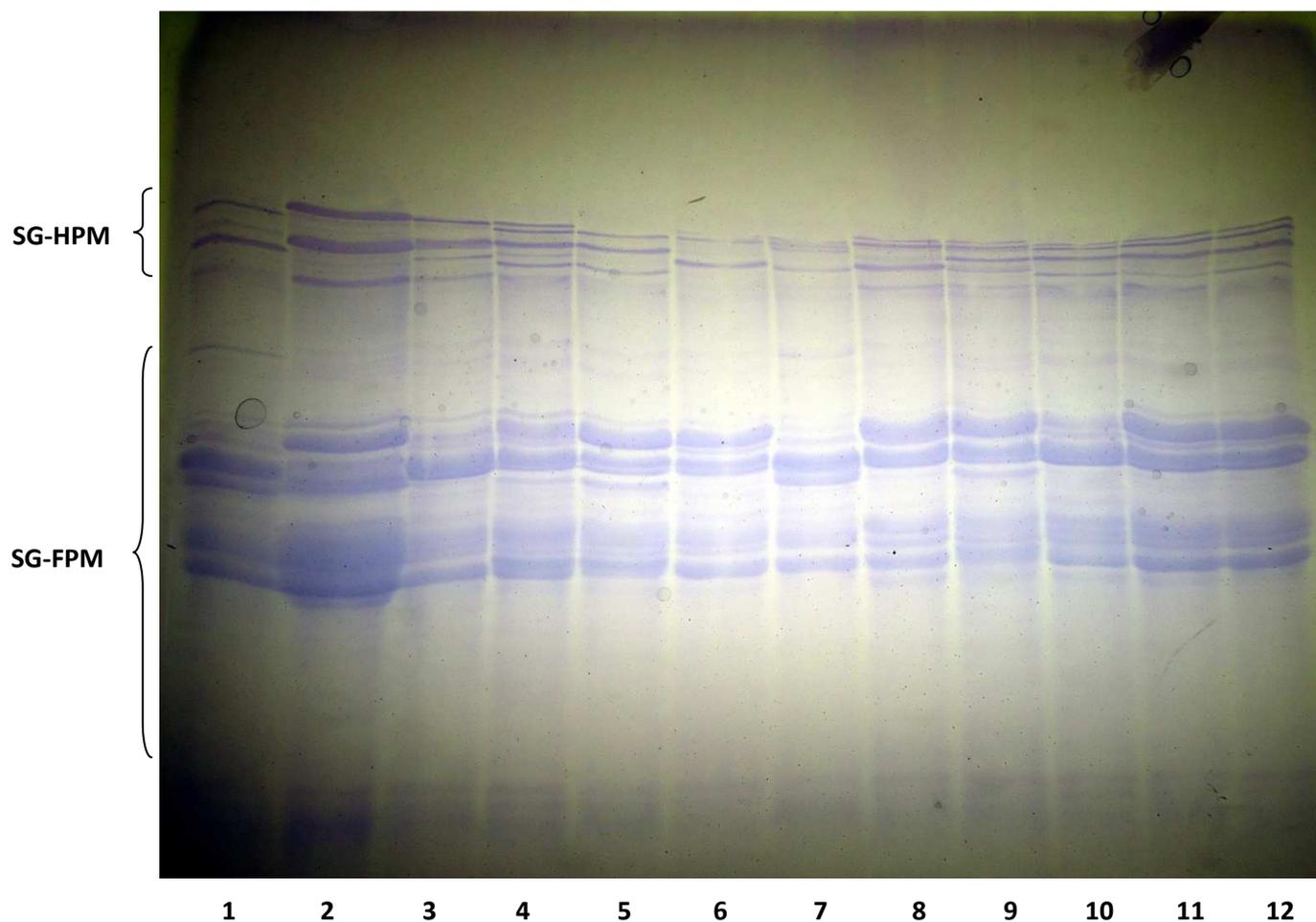
Les sous unités de gluténines HPM jouent un rôle important dans la détermination des propriétés fonctionnelle de la pâte. (**LEON et al.**, 2010)

- Les bandes à mobilité intermédiaire entre les SG-HPM et SG-FPM correspondent à des SG-FPM de la zone *D* et quelques traces de ω -gliadines.
- Les bandes à mobilité très rapide (bas du gel) correspondent à des traces d'albumines-globulines.

Ces résultats montrent donc que la fraction gluténines solubles est légèrement contaminée par quelques protéines monomériques (albumines-globulines et ω -gliadines), donc la solution de 0.3 M NaI et 7.5% propanol-1 n'a pas permis une solubilisation complète des ces protéines monomériques, ces résultats demandent à être vérifiés sur un plus grand nombre de génotypes.

FU et KOVACS (1999) ont trouvé que la solution composé de 0.3 M NaI et 7.5% propanol-1 permet d'extraire la totalité des protéines monomériques y compris les ω -gliadines débarrassées de gluténines.

Figure n° 12 : Electrophorèse des gluténines solubles (SDS-PAGE) ; gel à 15% d'acrylamide à 1,5 mm d'épaisseur ; temps de migration 5 heures 30 minutes à 30mA.



- 1:** SERI82/SHUHA'S'
- 2:** Mahon Demias
- 3:** Anza
- 4:** Acsad Djanet
- 5:** Acsad 901
- 6:** Wifak
- 7:** Analpo
- 8:** Hidhab
- 9:** Aïn Abid
- 10:** ATTILA
- 11:** Florence aurore
- 12:** KAUZ//PRL/VEE#6/3/BAV92

CONCLUSION GENERALE

CONCLUSION GENERALE

Dans ce travail nous avons d'une part quantifié un certains nombre de fractions protéiques (albumines-globulines, gliadines, gluténines solubles, protéines monomériques et le résidu protéique insoluble) en utilisant des méthodes récentes de fractionnement séquentiel et en dosant leur teneur en protéines par la méthode de Kjeldahl et déterminer d'autre part certains caractéristiques technologiques d'un certains nombre de génotype de blé tendre algérien. Ceci nous a permis de déterminer les relations possibles entre les teneurs en protéines de différentes fractions protéiques et certaines caractéristiques technologiques des farines.

Dans une seconde étape, nous avons essayé de vérifier la pureté de chaque classe protéique par électrophorèse Acide-PAGE et SDS-PAGE.

Les principales conclusions de ce travail peuvent être synthétisées comme suit :

1/Concernant les caractéristiques technologiques

- 16 génotypes sur 22 ont donné des taux d'extraction compris entre 60 et 70%, le restant des génotypes a donné des taux légèrement plus faibles compris entre 59,20 et 51,57%. La majorité des échantillons provenant de la station de Tiaret sont ceux qui ont donné des taux d'extraction inférieurs à 60%.
- A l'exception des 4 premiers génotypes du classement hiérarchique du test SDS qui ont donné des volumes de sédiments compris entre 60 et 70 et qui peuvent être considérés comme des blés de force boulangère moyenne, le restant des génotypes a donné des volumes de sédiments inférieurs à 60 ml et sont considérés comme des blés de mauvaise qualité boulangère.
- Au niveau des caractéristiques alvéographiques, les résultats obtenus ont montré que :
 - 4 échantillons de blé tendre étudiés sont des blés de force, 7 sont des blés panifiables courants, 9 sont des blés impanifiables et deux blés (**SERI82/SHUHA'S'**, **Acsad 901**) présentant des bons gonflements, des rapports P/L équilibrés et des W respectives de 235 et 205 sont considérés comme des blés améliorants.

- De façon plus générale, la quasi-totalité des génotypes étudiés se caractérisent par des gonflements G faibles (inférieur à 20) et des rapports de configuration P/L déséquilibrés.
- Les indices d'élasticité de la majorité des échantillons étudiés sont tous moyens à bons, à l'exception de cinq génotypes qui présentent des indices supérieurs à 55 donc élevés, 2 génotypes ont donné des I_e inférieurs à 35 donc insuffisant et 2 ont donné des I_e incalculables (extensibilité $L < 40$).

2/Concernant les caractéristiques biochimiques

- Les génotypes étudiés présentent des teneurs en protéines totales allant de 9,71% à 15,39% (grammes de protéines dans 100 g de matière sèche) avec une moyenne de 12,10% $\pm 1,35$.
- Pour les 15 échantillons soumis au fractionnement séquentiel des protéines, ils ont présenté :
 - Des teneurs en protéines monomériques variant entre 45,30 et 60,97% ;
 - Des teneurs en gliadines comprises entre 29,23 et 38,98% ;
 - Des teneurs en albumines-globulines qui oscillent 7,68 et 28,18% ;
 - Des teneurs en gluténines solubles allant de 9,69 et 18,76% ;
 - Des teneurs en résidus protéiques insolubles variant entre 27,95 et 39,88 % ;
 - Des teneurs en protéines solubles entre 57,94 et 79,43% et en protéines polymériques entre 41,77 et 52,52%.

3/ 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 technologiques, il en ressort des relations étroites entre les différents paramètres alvéographiques et entre ces derniers et le test de sédimentation en milieu SDS.
- De l'analyse des relations entre les différentes fractions protéiques et les teneurs en protéines totales exprimées en % de MS il en ressort que la majorité des fractions

protéiques sont corrélées positivement et de manière significative à très significative aux teneurs en protéines totales des farines, donc l'augmentation des teneurs en protéines totales engendre l'augmentation de la teneur en protéines en ces fractions, cependant les teneurs en gluténines solubles, en protéines monomériques et en protéines solubles exprimées en % de protéines totales diminuent avec l'augmentation des teneurs en protéines totales des échantillons.

- De l'analyse des corrélations entre les paramètres technologiques et les différentes fractions protéiques ainsi que leurs ratios, il ressort que :
 - Les W alvéographiques, les ténacités P, les indices d'élasticité Ie et les volumes de sédimentation SDS sont associés positivement et de façon hautement significative à très significative aux teneurs en protéines totales, aux teneurs en protéines insolubles (exprimées en pourcentage de MS ou de PT) et aux teneurs en protéines polymériques exprimées en pourcentage de MS.
 - Ces paramètres (W, P, Ie et SDS) sont par contre associés négativement et de façon significative à très significative aux teneurs en gluténines solubles, aux teneurs en protéines monomériques et aux teneurs en protéines solubles (exprimée en pourcentage de PT).
 - Les extensibilités L ou les gonflements G sont associées positivement et très significativement aux teneurs en gliadines exprimées en pourcentage de MS et positivement et de façon significative aux teneurs en gliadines exprimées en % de PT.
 - Ces deux paramètres alvéographiques sont par contre négativement corrélés et de façon hautement significative à très significative aux teneurs en albumines-globulines (exprimées en % de MS ou de PT respectivement).
 - Enfin les W alvéographiques, les ténacités P, les indices d'élasticité Ie et les volumes de sédimentation SDS sont associés négativement et de façon significative à très significative aux différents ratios calculés comportant les fractions négativement associés à ces paramètres (P. Sol. /P. Poly. ; P. Sol. / P. Ins. ; P.Mon./P.Poly. ; P.Mon./P.Ins. ; Gli./P.Poly. ; Gli./P.Ins.).

4/ Concernant le fractionnement électrophorétique des protéines, il en ressort que :

- La fraction salino-soluble extraite suivant la méthode de **FU** et **SAPIRSTEIN** (1996) est fortement contaminée par les gliadines reconnus selon la définition d'**OSBORNE** (1907) comme étant la fraction soluble dans les solutions alcooliques.
- Les fractions gliadines et albumines-globulines extraites suivant la méthode de **DUPONT** et *al.* (2005) ne sont pas très pures, cette méthode ne permet pas une séparation exhaustive entre les albumines-globulines et les gliadines, il y'a toujours un chevauchement dans la solubilité entre les fractions gliadines et albumines-globulines.
- La fraction des gluténines solubles contient des sous unité FPM plus nombreuses et plus concentrées qu'aux sous unité HPM.
- Les fractions gluténines solubles sont légèrement contaminées par quelques albumines-globulines et ω -gliadines, donc la solution de 0.3 M NaI et 7.5% propanol-1 n'a pas permis une extraction complète des ces protéines monomériques.



A partir des corrélations effectuées entre les différents tests d'appréciation de la qualité des 15 échantillons de blé tendre étudiés, on peut conclure que les teneurs en protéines totales, en protéines insolubles et en protéines polymériques (exprimées en % de M.S. ou des protéines totales) sont ceux qui déterminent les caractéristiques de force des farines des blés tendre. À l'inverse les protéines solubles (regroupant les protéines monomériques et les gluténines solubles) ont un effet négatif sur cette caractéristique.



A la lumière des séparations électrophorétique, il en ressort que les méthodes utilisées pour le fractionnement séquentiel des protéines n'ont pas permis une séparation nette des différentes fractions protéiques. Cette étude conduite sur un nombre restreint de blés mérite d'être étendue sur un nombre d'échantillons plus grand pour confirmer ou infirmer ces conclusions et à rechercher des techniques de fractionnement séquentiel qui permettent d'optimiser la séparation des différentes fractions protéiques afin de mieux élucider le rôle de chaque fraction protéique dans les caractéristiques de la qualité boulangère.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

A

- **AAMODT A., MAGNUS E.M., FAERGESTAD E.M., (2005).** Hearth bread characteristics: effect of protein quality, protein content, whole meal flour, DATEM, proving time, and their interaction. *Cereal Chemistry*, vol. 82, n. 3, p.p. 290-301.
- **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.
- **AUTRAN J.C., BOURDET A., (1975).** L'identification des variétés de blé : établissement d'un tableau générale de détermination fondé sur le diagramme électrophorétique des gliadines du grain. *Ann. Amelior. Plant.* vol. 25, p.277.
- **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 chem.*, vol.56, p.p. 582-584.

B

- **BAGHOUS F., (1998).** Relation entre les sous unités gluténines et les caractéristiques technologiques intrinsèques des blés tendres cultivés en Algérie. Thèse de magistère, INA, El-Harrach, Algérie, 126p.
- **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 chem.*, vol.75, n.3, p.p.374-379.
- **BELALOUI D., (2012).** Contribution à une meilleure connaissance des relations entre la composition protéique des farines et leurs caractéristiques alvéographiques. Thèse de magistère, E.N.S.A., El-Harrach, Algérie, 93p.

- **BERLAND S., 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 weight determined by sodium dodecylsulfate polyacrylamide gel electrophoresis. *Cereal chem.*, vol.49 p.p. 416-430.
- **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.
- **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).** Critères de jugement de la valeur boulangère des blés de la sélection à l'utilisation. *Tech. Ind. Céréal.*, vol. 158, p.p. 3-11.
- **BRANLARD G., DARDEVET M., (1985).** Diversity of grain protein and bread quality, correlation between high molecular weight subunits of glutenin and flour quality characteristics. *Journal of Cereal Science*, vol. 3, p.p. 345-354.
- **BUSHUK W., ZILLMAN R.R., (1978).** Wheat cultivar identification by gliadin electrophoregrams. Apparatus, method, and nomenclature. *Can J. plant Sci.*, vol. 58, p.p. 505-515.

C

- **CALVEL R., (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. 9eme Ed. *Eyrolles*, Paris, p.p.11-64.
- **CASTILLE J.P., VANDAM I., (1985).** « Amélioration du blé et qualité technologique ». Pain et santé. Colloque international. Palais de congres, Bruxel, Mardi 10 sep.
- **CHAKRABORTY K., KHAN K., (1988b).** Biochemical and bread-making properties of wheat protein components. II. Reconstitution baking studies of protein fractions from various isolation procedures. *Cereal Chemistry*, vol.65, p.p.340-344.
- **CHENE C., (2001).** La farine, 1ère partie. *Agro-Jonction*, n. 26, p.p. 1-8.
- **CIAFFI M., TOZZY L., LAFIANDRA D., (1996).** Relationship between flour protein compositions determined by SE-HPLC and dough rheological parameters. *Cereal Chemistry*, vol.73, p.p.346-341.
- **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.
- **CORNEC M., POPINEAU Y., LEFEBVRE J., (1994).** Characterisation of gluten subfraction by SE-HPLC and dynamic rheological analysis in shear. *Journal of Cereal Science*, vol. 19, p.p. 131-139.
- **CUNIBERTI M. B., ROTH M. R., MacRITCHIE F., (2003).** Protein composition-functionality relationships for a set of argentinean wheats. *Cereal Chemistry*, vol.80, n.2 p.p.132-134.

D

- **DACOSTA Y., (1986).** Le gluten de blé et ses applications. *Apria*. p.p. 18-63.
- **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. 607-612.

- **DON C., MANN G., BEKES F., HAMER R. J., (2006).** HMW-GS affect the properties of glutenin particles in GMP and thus flour quality. *Journal of Cereal Science*, vol. 44, p.p. 127-136.
- **DOWELL F. E., MAGHIRANG E. B., PIERCE R. O., LOOKHART G. L., BEAN S. R., XIE F., CALEY M. S., WILSON J. D., SEABOURN B. W. RAM M. S., PARK S. B., CHUNG O. K., (2008).** Relationship of bread quality to kernel, flour, and dough properties. *Cereal chemistry*, vol.85, n.1, p.p.82-91.
- **DUPONT F. M., CHAN R., LOPEZ R., VENSEL W. H., (2005).** Sequential extraction and quantitative recovery of gliadins, gluténines and other proteins from small samples of wheat flour. *J. Agric. Food Chem.*, vol.53, p.p. 1575-1584.
- **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.
- **DUTTA T., KAUR H., SINGH S., MISHRA A., TRIPATHI J. K., SINGH N, PAREEK A., SINGH P., (2011).** Developmental changes in storage proteins and peptidyl prolyl cis–trans isomerase activity in grains of different wheat cultivars. *Food Chem.*, vol.128, n.2, p.p.450-457.

F

- **FEILLET P., (1965).** Contribution à l'étude du blé : influence des facteurs génétiques agronomiques et technologiques. *Ann. Technol. Agric. (HS)* p.1-94.
- **FEILLET P., (1976).** Les albumines et les globulines du blé. *Ann. Technol. Agric.*, vol.25, n 2, p.p.203-216.
- **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, 308p.
- **FIGUEROA J. D. C, MAUCHER T., REULE W., PENA R. J., (2009).** Influence of High Molecular Weight Glutenins on Viscoelastic Properties of Intact Wheat Kernel and Relation to Functional Properties of Wheat Dough. *Cereal Chem.*, vol.86, n.2, p.p. 139-144.
- **FINNEY K. F., JONES B.L., SHOGREN M.D., (1982).** Functional (bread-making) properties of wheat protein fractions obtained by ultra-centrifugation. *Cereal Chem.*, vol.59, p.p. 449-453.
- **FRANCISCO J.C-M., MACRITCHIE F., (2008).** Quantitation of LMW-GS to HMW-GS ratio in wheat flours. *Cereal Chem.*, vol.85, n.6, p.p. 824-829.
- **FU B. X., KOVACS M. I. P., (1999).** Rapid single-Step procedure for isolating total glutenin proteins of wheat flour. *J. Cereal Sci.*, vol.29, n.2, p.p. 113-116.
- **FU B. X., SAPIRSTEIN H. D., (1996).** Procedure for isolating monomeric proteins and polymeric glutenin of wheat flour. *Cereal chem.*, vol.73, n.1, p.p.143-152.

G

- **GAINES C.S., (2000).** Collaborative study of methodes for solvent retention capacity profile-Method 56-11. *Cereal foods world*. Vol.45, p.p.303-306.
- **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 Chem.*, vol.78, n.6, p.p.635-646.

- **GODON B., LOISEL W., (1997).** Guide pratique d'analyse dans les industries des céréales : tests de laboratoire. Paris, Lavoisier, p.p. 653-697. (Collection sciences et techniques agro-alimentaires).
- **GODON B., WILLM C, (1991).** Biotransformation des produits céréaliers : les constituants des céréales : nature, propriétés et teneurs. Paris, *Lavoisier*, p.p. 1-19. (Collection sciences et techniques agro-alimentaires).
- **GOESAERT H., BRIJS K., VERAVERBEKE W.S., COURTIN C.M., GEBRUERS K., DELCOUR J.A., (2005).** Wheat flour constituents: how they impact bread quality, and how to impact their functionality. *Trends in Food Science & Technology*, vol. 16, p.p. 12–30.
- **GRAVELAND A., BONGERS P., BOSVELD P., (1979).** Extraction and fractionation of wheat flours proteins. *J. Sci. Food Agric.*, vol.30, p.p. 71-84.
- **GUPTA R. B., BATEY I. L., MACRITCHIE F., (1992).** Relationships between protein composition and functional properties of wheat flours. *Cereal chem...*, vol.69, n.2, p.p.125-131.
- **GUPTA R. B., KHAN K., MACRITCHIE F., (1993).** Biochemical basis of flour properties in bread wheat. I. Effects of variation in the quantity and size distribution of polymeric protein. *J. Cereal Sci.*, vol.18, p.p.23-41.
- **GUPTA R. B., MACRITCHIE F., (1991).** Rapid one step one dimensional SDS-PAGE procedure for analysis of subunits composition of glutenin in wheat. *J. Cereal Sci.*, vol.14, p.p.105-109.

H

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

- **HOU G., YAMAMOTO H., NG P.K.W., (1996).** Relationship of quantity of glutenin subunits of selected U.S soft wheat flours to rheological and baking properties. *Cereal Chemistry*, vol. 73, p.p. 358-363.
- **HUBNER F. R., BIETZ J. A., NELSEN T., BAINS G.S., FINNEY P. L., (1999).** Soft wheat quality as related to protein composition. *Cereal chem.*, vol.76, n.5, p.p.650-655.

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 cultivar by gliadin electrophoresis: electrophoregrams of the 88 wheat cultivars most commonly grown in the united states in 1979. *Cereal chem.*, vol.59, p.p.181-188.

K

- **KHAN K., Mc DONALD C.E., BANASIK O.J., (1983).** Polyacrylamide gel electrophoresis of gliadin proteins for wheat variety identification-procedural modifications and observations. *Cereal chem.*, vol.60, p.p.178-181.
- **KHAN K., HAMADA A.S., PATEK J., (1985).** Polyacrylamide gel electrophoresis for wheat variety identification: effet of variables on gel properties. *Cereal chem.*, vol.62, p.p.310-313.
- **KHATKAR B.S., FIDO R.J., TATHAM A.S., SCHOFIELD J.D., (2002 a).** Functional properties of wheat gliadines. I. Effects on mixing characteristics and bread making quality. *J. Cereal Sci.* Vol.35, p.p. 299-306.
- **KLEIJER, G. 2002.** Sélection des variétés de blé pour la qualité boulangère. Station Fédérale de Recherches en Production Végétale de Changins. *Revue Suisse d'Agriculture*, 34 (6) : 253-259.

L

- **LAKER K., 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.
- **LEON E., AOUNI R., PISTON F., RODRIGUEZ-QUIJANO M., SHEWRY P. R., MARTIN A., BARRO F., (2010).** Stacking HMW-GS transgenes in bread wheat: Combining subunit 1Dy10 gives improved mixing properties and dough functionality. *J. Cereal Sci.* Vol.51, p.p. 13-20.
- **LI Y, ZHU R, TIAN J., (2008).** Influence of wheat protein contents and fractions on dough rheological properties as determined by using a reconstitution method. *Agricultural sciences in China*, vol.7, n.4, p.p.395-404.
- **LOOKHART G.L., JONES B.L., HALI B.B., FINNEY K.F.; (1982).** An improved method for standandizing polyacrylamide gel electrophoresis of wheat gliadin proteins. *Cereal Chemistry*, vol. 59, p.p. 178-181.

M

- **MACRITCHIE F., (1992).** Physicochemical properties of wheat proteins in relation to functionality. *Advences in food and nutrition research*, vol.36, p.p.1-87.
- **MACRITCHIE F., DUCROS D. L., WRIGLEY C. W., (1990).** Flour polypeptides related to wheat quality. *Adv. Cereal Sci. Technol.*, vol.10, p.p.79-145.
- **MAGHIRANG E. B., LOOKHART G. L., BEAN S. R., PIERCE R. O., XIE F., CALEY M. S., WILSON J. D., SEABOURN B. W., RAM M. S., PARK S. H., CHUNG O. K., DOWELL F. E., (2006).** Comparison of quality characteristics and breadmaking functionality of hard red winter and hard red spring wheat. *Cereal Chemistry*, vol. 83, n. 5, p.p. 520-528.

- **MARCHYLO B. A., KRUGER J. E., HATCHER D. W., (1989).** Quantitative reversed-phase high-performance liquid-chromatography analysis of wheat storage proteins as a potential quality prediction tool. *Journal of Cereal Science*, vol.9, p.p.113-130.
- **MARTINANT J. P., NICOLAS Y., BOUGENNEC A., POPINEAU Y., SAULNIER L., BRANLARD G., (1998).** Relationships between mixograph parameters and indice of wheat grain quality. *J. Cereal Sci.*, vol. 27, p.p. 179-189.
- **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., 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.
- **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.
- **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.
- **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, *I.N.A*, El Harrach, Algérie, 88 p.
- **MONNEVEUX P., MERIE J.C., BLANC J.F., (1984).** Amélioration de la qualité pastière du blé dur (*triticum durum* desf). Etude des relations entre les diagrammes électrophorétique des gliadines et certaines caractéristiques technologiques. *Agronomie*, Vol.4, p.p. 1-10.

O

- **OBREHT D., DENČIĆ 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.
- **ÔRNEBRO J., WAHLGREN M., ELIASSON A. C., FIDOT R. J., TATHAMT S., (1999).** Adsorption of α , β , γ , and ω -gliadins on hydrophobic surfaces. *Journal of Cereal Science*, vol.30, p.p. 105-114.
- **ORTH R. A., BUSHUK W., (1972).** A comparative study of the proteins of wheat's of diverse baking qualities. *Cereal chem.*, vol.49, n.5, p.p.268-275.

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 Chem.*, vol.83, n.4, p.p.418- 423.
- **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. *J. Sci. Food Agric.*, 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. *Theor. Appl. Genet.*, 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., NIGHTINGALE M. A., KRATTIGER A. F., HOLT L. M., (1987).** The relationship between HMW glutenin subunit composition and the breadmaking quality of british-grown wheat varieties. *Journal of the Science Food and Agriculture*, vol. 40, p.p. 51-65.
- **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.
- **POMERANZ Y., (1965).** Dispersibility of wheat proteins in aqueous urea solution-A new parameter to evaluate bread-making potentialities of wheat flours. *J. Sci. Food Agric.*, vol.16, p.p. 586-593.
- **POMERANZ Y., (1982).** Flour components and baking behavior. *Getreide mehlbrot*, vol. 36, p.p. 264-272.
- **POMERANZ Y., (1988).** Wheat Chemistry and Technology. Vols.1 and 2. AACC International : St. Paul, MN.
- **POPINEAU Y., (1985).** Propriétés biochimiques et physico-chimiques des protéines des céréales. In : Les protéines végétales. Ed Tec et Doc, Lavoisier, p.p. 161-210.
- **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 Chem.*, vol.69, n.5, p.p.560-567.

Q

- **QUIK J.J., DONNELLY B.J., (1980).** A rapid test for estimating durum wheat quality. *Crop science*, Vol.20, p.p. 816-818.

R

- **RASIAH I.A., SUTTON K.H., LOW F.L., LIN H.M., GERRARD J.A. (2005).** Crosslinking of 18 wheat dough proteins by glucose oxidase and the resulting effects on bread and croissants. *Food Chem.*, vol.89, p.p. 325-332.
- **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.
- **REDAELLI R., MOREL M.H., AUTRAN J.C., POGNA E., (1995).** Genetic analysis of low Mr glutenin subunits fractionated by two-dimensional electrophoresis (A-PAGE×SDS-PAGE). *Journal of Cereal Science*, vol.21, p.p. 5-13.
- **ROBERSTON G.H., CAO T.K., ORTS W.J., (2007).**wheat proteins extracted from flour and batter with aqueous ethanol at subambient temperatures. *Cereal chem...*, vol.84, n.5, p.p.497-501.
- **ROUSSEL P., (1984).** Guide pratique d'analyse dans les industries des céréales: test de panification. Paris, *Lavoisier*, p.p. 511-545. (Collection techniques et documentation).
- **ROUSSEL P., CHIRON H., (2002).** Les pains français : Evolution, qualité, production. *MAE-ERTI*, Vesoul, 433p. (Collection science et technologie des métiers de bouche).
- **ROUSSET M., (1981).** Les nouvelles variétés de blé qu'en est-il des variétés impanifiables, perspectives d'avenir, exposé au CPCIA, sessions des blés et farines. Rungis, 29 sept-1oct.

S

- **SADOUKI H., (1985).** Electrophorèse des protéines de blé tendre et ses relations avec la qualité boulangère. Thèse de magistère. INA. . El-Harrach, Algérie, 184p.
- **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., BUSHUK W., (1985).** Computer-aided analysis of gliadin electrophoregrams. I. Improvement of precision of relative mobility determination by using a three reference band standardization. *Cereal chemistry*, vol.62, n.5, p.p.372-377.
- **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., HALFORD N. G., TATHAM A. S., (1992).** High molecular weight subunits of wheat glutenin (critical review). *Journal of Cereal Science*, vol.15, p.p. 105-120.
- **SHEWRY P. R., TATHAM A. S., (1997).** Biotechnology of wheat quality. *J. Sci. Food. Agric.*, vol.73, p.p. 397-406.
- **SHEWRY P. R., TATHAM A. S., FORDE J., KREIS M., MIFLIN B. J., (1986).** The Classification and nomenclature of wheat gluten proteins. A reassessment. *Journal of Cereal. Science*, vol.4, p.p.97-106.
- **SLADE L., LEVINE H., (1994).** The science of cookies and cracker production: structure-function relationships of cookies and cracker ingredients. New York, H. Faridi, ed. Champman and Hall, p.23-141.

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

T

- **TATHAM A. S., MIFLIN B. J., SHEWRY P. R., (1985a).** The beta-turn conformation in wheat gluten proteins: Relationship to gluten elasticity. *Cereal Chem.*, vol.62, p.p. 405-442.
- **TRACHUK R., MELLISH V.J., (1980).** Wheat cultivar identification by high voltage gel electrophoresis. *Ann. Technol. Agrico.*, Vol.29, p.p. 207-212.
- **TSILO T. J., OHM J., HARELAND G. A., ANDERSON J. A., (2010).** Association of Size-Exclusion HPLC of Endosperm Proteins with Dough Mixing and Breadmaking Characteristics in a Recombinant Inbred Population of Hard Red Spring Wheat. *Cereal Chemistry*, vol.87, n.2, p.p. 104-111.

U

- **UTHAYAKUMARAN S., GRAS P. W., STODDARD F. L., BEKES F., (1999).** effect of varying protein content and glutenin-to-gliadin ratio on the functional properties of wheat dough. *Cereal chem.*, vol.76, n.3, p.p.89-394.
- **UTHAYAKUMARAN S., 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.
- **UTHAYAKUMARAN S., LUKOW O.M., (2005).** Improving wheat for bread and tortilla production by manipulating glutenin-to-gliadin ratio. *Journal of the science of Food and Agriculture*, vol. 85, p.p. 2111-2118.

V

- **VENSEL, W.H., TANAKA, C.K., CAI, N., WONG, J.H., BUCHANAN, B.B., HURKMAN, W.J., (2005).** Developmental changes in the metabolic protein profiles of wheat endosperm. *Proteomics*, Vol. 5, p.p.1594-1611.
- **VERBRUGGEN I. M., DELCOUR J.A., (2003).** Extension properties of wheat flour dough fortified with characterised wheat gluten fractions. *Journal of Cereal Science*, vol. 37, p.p. 131-156.
- **VERBRUGGEN I. M., VERAVERBEKE W. S., VANDAMME A., DELCOUR J. A., (1998).** Simultaneous isolation of wheat high molecular weight and low molecular weight glutenin subunits. *J Cereal Sci*, Vol. 28, p.p. 25-32.

W

- **WANG C., KOVACS M. I. P., (2002a).** Swelling index of glutenin test. I. Method and comparison with sedimentation, gel-protein, and insoluble glutenin tests. *Cereal chem.*, vol.79, n.2, p.p. 183-189.
- **WANG C., KOVACS M. I. P., (2002b).** Swelling index of glutenin test. II. Application in prediction of dough properties and end use quality. *Cereal chem.*, vol.79, n.2, p.p. 190-196.
- **WANG C., KOVACS M. I. P., FU B.X., (1998).** Efficiency of different concentration of ethanol and 1-propanol for gliadin and glutenin extraction. p.p..219-223 IN: Wheat protein production and marketing. D.B. Fowler, W.E. Geddes, A.M. Johnston, K.R. Preston, eds. University of Saskatchewan: Saskatoon, Canada.
- **WANG Y. G., KHAN K., HARELAND G., NYGARD G., (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 chem.*, 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 Chem.*, Vol.77, n.1, p.p.48-52.
- **WIESER H., (2007).** Chemistry of gluten proteins. *Food microbiology*, vol.24, n.2, p.p.115-119.
- **WIM S.V., DELCOUR J.A., (2002).** Wheat protein composition and properties of wheat glutenin in relation to breadmaking functionality. *Food science and nutrition*, vol.42, n.3, p.p.179-208.
- **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.
- **WRIGLEY C. W., (1976).** Isoelectric focusing electrophoresis in gel. In isoelectric focusing. LATSIMPOOLAS ed. Academic Press. New York, p.p.93-117.
- **WRIGLEY C. W., (1996).** Gluten 96 proceeding of the Sixth International Gluten Workshop, Royal Australian Chemical Institute. Melbourne, Australia.
- **WRIGLEY C. W., BIETZ J.A., (1987).** Proteins and amino acids. Pages 159-252 in: Wheat Chemistry and Technology. Y. Pomeranz, ed. Am. Assoc. *Cereal Chem.* :St. Paul, MN.

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

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. 465-471.

Y

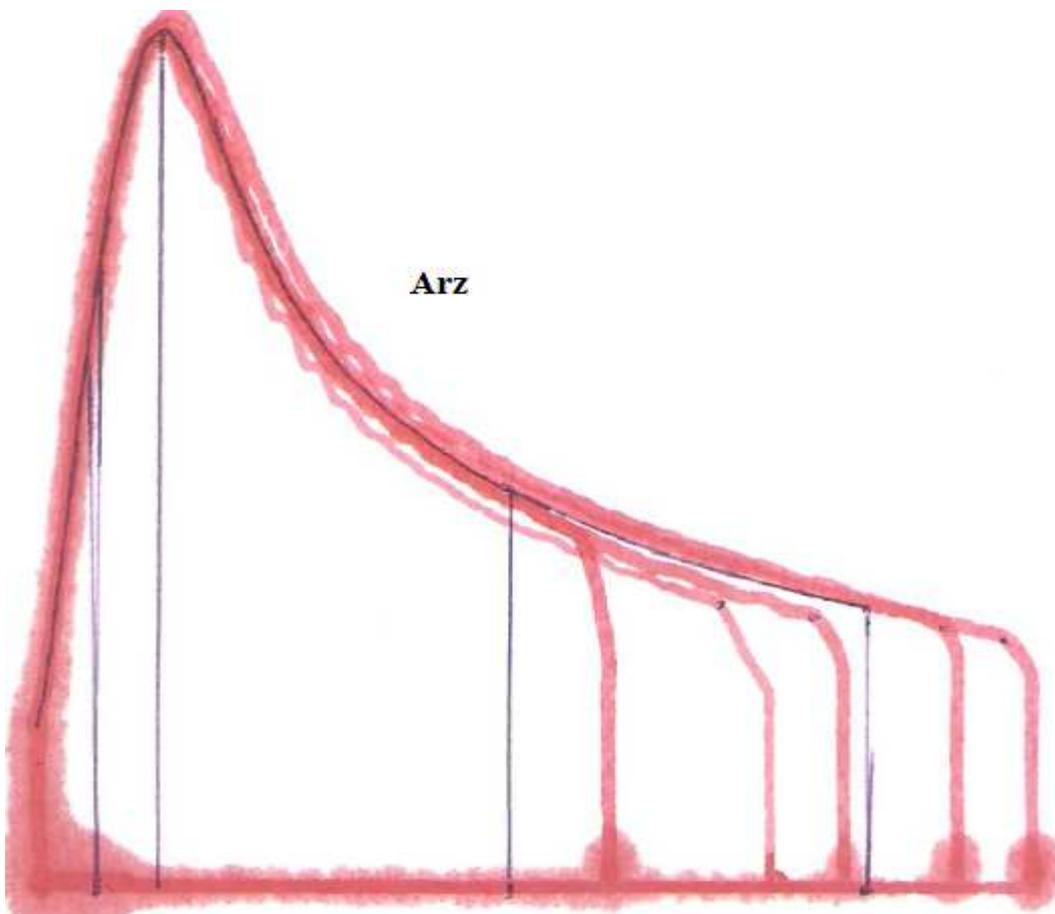
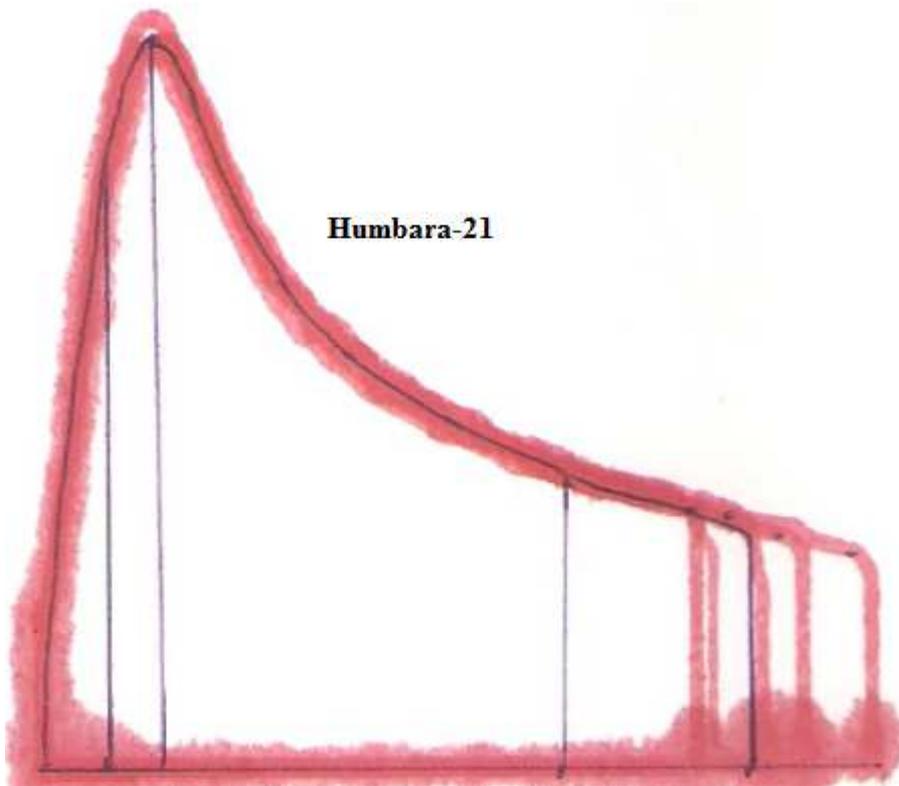
- **YOUYOU S., (2012).** Contribution à une meilleure connaissance de la fraction glutéine et de ses relations avec les caractéristiques technologiques des farines de blés tendres algériens. Thèse de magistère, E.N.S.A., El-Harrach, Algérie, 113 p.

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.
- **ZHANG P., HE Z., ZHANG Y., XIA X., CHEN D., ZHANG Y., (2008).** Association between % SDS-unextractable polymeric protein (%UPP) and End-Use quality in Chinese bread wheat cultivars. *Cereal Chem.*, Vol.85, n.5, p.p.696-700.
- **ZILMAN R.R., BUSHUK W., (1979a).** Wheat cultivar identification by gliadin electrophoregrams. II Effets of environmental and experimental factors on the gliadin electrophoregram. *Can J. Plant Sci.*, Vol.59, p.p. 281-286.

ANNEXES

Annexe 1: Exemple d'alvéogrammes



Annexe 2: Valeurs des différents essais de fractionnement séquentiel des protéines

| station | Fractions Génotypes | P. Ins. (% des P.T.) | | | | Glu. Sol. (% des P.T.) | | | | P. mon. (% des P.T.) | | | | Gli. (% des P.T.) | | | | A.G. (% des P.T.) |
|---------|-----------------------------|----------------------|------------|------------|--------------|------------------------|------------|------------|--------------|----------------------|------------|------------|--------------|-------------------|------------|------------|--------------|-------------------------|
| | | 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 | Par différen ce |
| khroub | Hidhab | 28,23 | 28,06 | 27,55 | 27,95 | 14,88 | 14,70 | 15,06 | 14,88 | 52,90 | 53,92 | 54,26 | 53,69 | 34,59 | 35,10 | 34,08 | 34,59 | 19,10 |
| | Ain Abid | 31,33 | 32,35 | 31,94 | 31,87 | 19,19 | 18,98 | 18,12 | 18,76 | 49,18 | 50,39 | 48,37 | 49,31 | 29,02 | 29,02 | 29,63 | 29,23 | 20,09 |
| | BACANORA 86//TAST/TORIA | 28,51 | 27,78 | 28,87 | 28,38 | 18,52 | 18,13 | 18,71 | 18,45 | 60,85 | 61,58 | 60,49 | 60,97 | 32,79 | 32,25 | 33,34 | 32,79 | 28,18 |
| | SERI82/SHUHA'S' | 35,34 | 35,03 | 35,65 | 35,34 | 13,39 | 13,23 | 13,06 | 13,23 | 47,29 | 46,05 | 46,05 | 46,47 | 38,95 | 38,48 | 38,95 | 38,79 | 7,68 |
| | KAUZ//PRL/VEE#6/3/B AV92 | 35,03 | 34,40 | 33,93 | 34,45 | 15,35 | 15,26 | 15,68 | 15,43 | 48,49 | 48,17 | 47,39 | 48,02 | 32,74 | 32,27 | 32,74 | 32,58 | 15,43 |
| | Kauz'S'/Prew | 35,75 | 37,17 | 36,22 | 36,38 | 13,61 | 13,44 | 13,86 | 13,64 | 53,70 | 54,01 | 53,70 | 53,80 | 35,33 | 36,27 | 34,86 | 35,49 | 18,32 |
| | Attila | 32,00 | 32,32 | 31,68 | 32,00 | 13,32 | 13,06 | 13,49 | 13,29 | 50,42 | 50,10 | 50,74 | 50,42 | 37,81 | 37,33 | 38,29 | 37,81 | 12,60 |
| | Florence Aurore | 34,42 | 34,69 | 34,28 | 34,46 | 9,55 | 9,55 | 9,99 | 9,69 | 51,45 | 51,16 | 50,57 | 51,06 | 30,88 | 30,68 | 31,30 | 30,95 | 20,11 |
| Tiaret | Mahon demias | 29,19 | 29,88 | 30,58 | 29,88 | 15,01 | 15,20 | 14,83 | 15,01 | 60,63 | 58,55 | 59,59 | 59,59 | 38,98 | 38,46 | 39,50 | 38,98 | 20,61 |
| | Anza | 30,78 | 31,71 | 31,55 | 31,35 | 13,27 | 13,51 | 13,76 | 13,51 | 54,24 | 53,62 | 53,15 | 53,67 | 35,33 | 34,87 | 35,80 | 35,33 | 18,34 |
| | Acsad Djanet | 39,55 | 40,29 | 39,79 | 39,88 | 12,74 | 12,47 | 12,74 | 12,65 | 45,87 | 44,63 | 45,38 | 45,30 | 31,99 | 31,62 | 31,43 | 31,68 | 13,62 |
| | Acsad Rmada | 35,96 | 35,15 | 35,42 | 35,51 | 12,35 | 12,13 | 12,21 | 12,23 | 46,72 | 46,72 | 45,91 | 46,45 | 30,56 | 29,54 | 30,36 | 30,15 | 16,30 |
| | Acsad 901 | 35,72 | 34,76 | 34,44 | 34,97 | 12,76 | 12,59 | 12,50 | 12,62 | 49,28 | 48,33 | 48,65 | 48,75 | 34,34 | 34,10 | 34,82 | 34,42 | 14,33 |
| | Wifak | 37,53 | 37,53 | 38,07 | 37,71 | 13,77 | 13,70 | 13,92 | 13,80 | 46,45 | 45,65 | 44,59 | 45,56 | 29,86 | 30,26 | 30,06 | 30,06 | 15,50 |
| | Analpo | 33,69 | 33,20 | 34,02 | 33,64 | 17,10 | 17,45 | 16,93 | 17,16 | 47,62 | 47,62 | 47,45 | 47,56 | 29,35 | 28,86 | 29,84 | 29,35 | 18,21 |

Résumé

L'objectif de cette étude est la détermination de certaines caractéristiques technologiques de 22 farines de blé tendre, le fractionnement et la quantification des fractions protéiques solubles et insolubles de 15 génotypes de blé tendre et la recherche d'éventuelles relations entre les teneurs en ces fractions et quelques aspects de la qualité boulangère, puis la caractérisation électrophorétique des albumines-globulines, des gliadines et des gluténines solubles afin de vérifier leur pureté.

Pour le fractionnement séquentiel, la séparation des protéines monomériques et des protéines polymériques a été réalisée suivant 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.

Au niveau électrophorétique, l'extraction des gliadine et des albumines-globulines a été réalisé sur trois variétés suivant trois méthodes pour savoir laquelle extrait sélectivement ces fractions protéiques.

L'extraction des gluténines solubles a été effectuée sur 12 génotypes suivant la méthode de **WANG** et **KOVACS** (2002).

Les électrophorèses Acide-PAGE et SDS-PAGE ont été effectuées selon la méthode de **KHAN** et *al.*, (1985) et **REDAELLI** et *al.*, (1995) respectivement.

L'analyse statistiques des résultats a révélé que: les teneurs en protéines totales, en protéines insolubles et en protéines polymériques (exprimées en % de M.S. ou des protéines totales) sont ceux qui déterminent les caractéristiques de force des farines des blés tendre. À l'inverse les protéines solubles (regroupant les protéines monomériques et les gluténines solubles) ont un effet négatif sur cette caractéristique.

Les séparations électrophorétique ont montrées que les méthodes utilisées pour le fractionnement séquentiel des protéines n'ont pas permis une séparation nette des différentes fractions protéiques.

Mots clés : blé tendre – fractions protéiques– force boulangère–électrophorèse.

Abstract

The objective of this study is the determination of certain technological characteristics of 22 common wheat flours, the fractionation and the quantification of the soluble fraction proteins and the insoluble proteins in 15 common wheat genotypes and the research for possible relationships between these fractions content and some aspects of the baking quality, Then the characterization électrophorétique of the albumins-globulin, gliadins and soluble glutenins to verify their purity.

For the sequential fractionation, the separation of monomeric proteins and the polymeric proteins was achieved following 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.

At the level électrophorétique, the extraction of gliadins and albumins-globulins was realized on three varieties following three methods to know which one extracts selectively these protein fractions.

The extraction of soluble glutenins was made on 12 genotypes following the method of **WANG** and **KOVACS** (2002).

Electrophoresis Acide-PAGE and SDS-PAGE was made according to the methods of **KHAN** and *al.*, (1985) and **REDAELLI** and *al.*, (1995) respectively.

The analysis statistics of the results revealed that: the total protein content, insoluble proteins and polymer proteins (relative to total protein and dry matter) are the ones which determine the characteristics of strength of flours of common wheat. On the contrary soluble proteins (including monomeric protein and soluble glutenins) have a negative effect on this characteristic.

The separations électrophorétique showed that the methods used for sequential fractionation of proteins did not allow a clear separation of the various protein fractions.

Key words: soft wheat – protein fractions — baking strength- electrophoresis.

ملخص

الهدف من هذه الرسالة هو تحديد بعض الخاصيات التكنولوجية ل 22 عينة من القمح اللين، التقسيم الكمي للأجزاء

البروتينية القابلة للذوبان و غير القابلة للذوبان ل 15 عينة من القمح اللين و إيجاد العلاقات الممكنة بين كميات

هذه الأجزاء البروتينية و بعض جوانب نوعية الخبز، ثم الفصل الألكتروفوريتيكي للألبومين – غلوبولين،

للغليادين و للغلوتينات الذائبة حتى نفحص نقاوتها.

من أجل إنجاز التجزئة المتتابعة، الفصل بين البروتينات المعقدة و البروتينات البسيطة تم باستخدام طريقة **LI** و آخرون(2008)، ثم تم استخراج الغلو تينات الذائبة من الباقي تبعاً لطريقة **WANG** و **KOVACS** (2002)، و أخيراً تم ترسيب الغليادين من البروتينات البسيطة باستعمال طريقة **DUPONT** وآخرون (2005). تم تقييم البروتين الكلي وكميات بروتين مختلف الأجزاء المتحصل عليها بطريقة كجلدال (Kjeldahl).

على مستوى الفرز الكهربائي، استخلص للغليادين و الألبومين- غلوبولين تم على ثلاثة عينات من القمح اللين باستعمال ثلاثة طرق لمعرفة أي من الطرق تستخلص بطريقة إنتقائية هذه الأجزاء البروتينية.

استخلص الغلو تينات الذائبة تم على 12 عينة من القمح اللين بإتباع طريقة **WANG** و **KOVACS** (2002)

الفرز (1995) على التوالي. الكهربائي A-PAGE و SDS-PAGE تم تبعاً لطرق **KHAN** وآخرون (1985) و **REDAELLI** وآخرون

من خلال التحليل الإحصائي للنتائج اتضح لنا أن كميات البروتينات الكلية، البروتينات الغير قابلة للذوبان، البروتينات المعقدة (نسبة للبروتين الكلي و إلى المادة الجافة) هم الأجزاء التي تحدد خاصيات القوة على عكس البروتينات الذائبة (التي تجمع البروتينات الأحادية و الغلو تينات الذائبة) لهم دور سلبي على هذه الخاصيات. الفصل الإلكتروفوريتيكي بين أن الطرق المستعملة لإنجاز التجزئة المتتابعة لم تسمح بانفصال واضح لمختلف الأجزاء البروتينية.

الكلمات الدالة: القمح اللين- أجزاء البروتين- قوة الخبز- الفرز الكهربائي.

