

République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
Université des Frères Mentouri Constantine



Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie
Département de Biochimie et de Biologie Moléculaire et Cellulaire

N° d'ordre.....

N° de série.....

Mémoire

En vue de l'obtention du diplôme de Master en Biochimie
Option Analyse Protéomique et Santé

Appréciation de la qualité technologique des farines commerciales par des tests indirects

Présenté par :

- BOUKARBOUA Amira
- BOULKROUN Meriem Bouchra

Devant le jury :

- Président : Prof. KHELIFI Douadi, UFMC
- Examineur : Dr. MOSBAH Asma, UFMC
- Encadreur : Dr. BELLIL Inès, UFMC

Année universitaire 2015/2016



Remerciements

JE RENDS GRÂCE A DIEU ; LE CLÉMENT ; LE MISÉRICORDIEUX

LOUANGES AU PROPHÈTE MOHAMED

- ❖ Nos premiers remerciements vont à notre professeur Madame « **BELLIL Ines** » de la faculté des Sciences de la Nature et de la Vie de l'université des Frères Mentouri Constantine ; d'avoir accepté de diriger et d'orienter ce travail de recherche ; nous la remercions aussi pour son accueil ; son aide et ses conseils très précieux dans l'exploitation des résultats.
Il est agréable d'exprimer notre pleine gratitude pour votre simplicité et votre générosité preuve de votre qualité humaine et scientifique.
- ❖ Nous tenons à exprimer nos remerciements au professeur « **KHELIFI Douadi** » de la faculté des Sciences de la Nature et de la Vie de l'université des Frères Mentouri Constantine qui a accepté d'évaluer ce travail et de présider ce jury, qu'il soit ici remercié de l'intérêt qu'il a porté à ce travail.
- ❖ Nous tenons à remercier Docteur Mosbah Asma d'avoir accepté de faire partie du jury et d'examiner notre travail.
- ❖ Nos remerciements s'adressent à tous les enseignants du département de Biochimie pour leurs aides et encouragements au cours de nos études.
- ❖ Nos remerciements vont à tous ceux qui ont participé de près ou de loin à la réalisation de ce modeste travail.

Sommaire

Introduction	1
--------------------	---

Partie 1 : Etude Bibliographique

Chapitre 1 : Généralité sur le blé tendre

1. Importance du blé.....	3
2. Historiques et origine du blé tendre (<i>Triticum aestivum</i>).....	3
3. Production du blé mondiale et en Algérie.....	5
4. Structure et composition chimique et biochimique du grain de blé tendre.....	6
4.1. Structure du grain.....	6
Enveloppe.....	7
Amande farineuse.....	7
Germe.....	7
4.2. Composition chimique et histologique.....	8
5. Transformation du blé tendre en farine.....	9
5.1. Parcours du grain de blé.....	9
5.1.1. Nettoyage du grain.....	9
5.1.2. Etapes de la mouture.....	9
Broyage.....	10
Claquage.....	10
Convertissage.....	10

Chapitre 2 : Généralité sur la farine du blé tendre

1. Farine du blé tendre.....	11
2. Composition chimique de la farine du blé tendre.....	11
2.1. Amidon.....	12
2.2. Eau.....	13
2.3. Protéines.....	13
2.3.1. Proteines métabolique (Albumines et Globulines).....	14
2.3.2. Proteines de réserve (proteines du gluten).....	14
2.4. Matières minérales.....	15
2.5. Pentosanes.....	15
2.6. Lipides.....	16
Lipides libres.....	16
Lipides liées.....	16

2.7.	Vitamines.....	16
2.8.	Enzymes.....	16
	Protéases.....	16
	Lipases.....	17
	Amylases.....	17
3.	Caractéristiques de la farine.....	17
3.1.	Caractéristique organoleptique.....	17
3.1.1.	Essai au touché.....	17
3.1.2.	Odeur.....	17
3.1.3.	Saveur.....	17
3.1.4.	Couleur.....	18
3.2.	Caractéristique physico-chimique.....	18
3.2.1.	Taux de protéine.....	18
3.2.2.	Taux d’humidité.....	18
3.2.3.	Taux d’amidon.....	18
3.3.	Caractéristique technologique.....	18
3.3.1.	Test de Pelshenke.....	18
3.3.2.	Test de sédimentation (SDS).....	18
3.3.3.	Test de gluten humide et sec	19

Partie 2 : Etude Expérimentale

Chapitre 3 : Matériel et Méthodes

1.	Matériel biologique.....	20
2.	Méthodes utilisées.....	20
2.1.	Analyse technologiques.....	20
2.1.1.	Spectroscopie proche infrarouge	20
	Taux de protéines (Prot).....	21
	Taux d’Amidon (Am).....	21
	Taux d’Humidité (H).....	21
2.2.	Tests technologiques.....	21
2.2.1.	Test de Pelshenke	21
2.2.2.	Test de Sédimentation (SDS).....	22
2.2.3.	Test du Gluten humide et sec.....	23
2.2.4.	Capacité d’hydratation du gluten.....	23

2.3	Technique d'électrophorèse	23
2.3.1.	Principe.....	23
2.3.2.	Extraction des protéines de réserve.....	23
2.3.3.	Extraction des Gluténines.....	24
2.3.4.	Electrophorèse monodimensionnelle des Gluténines par SDS-PAGE.....	24

Chapitre 4 : Résultats et discussion

1.	Résultats des Analyses physico-chimiques.....	26
1.1.	Spectroscopie proche infrarouge.....	26
1.1.1.	Taux de protéine.....	26
1.1.2.	Taux d'Amidon.....	27
1.1.3.	Taux d'Humidité.....	28
1.2.	Résultats des caractéristiques technologiques.....	30
1.2.1.	Test Pelshenke (Pel).....	30
1.2.2.	Test de Sédimentation SDS.....	31
1.2.3.	Test du gluten Humide et gluten Sec.....	32
1.2.4.	Capacité d'Hydratation.....	33
2.	Technique d'électrophorèse.....	35
2.1.	Diagrammes types obtenus pour les gluténines HPM.....	37
2.2.	Diagrammes types obtenus pour les sous unités gluténines FPM.....	38
	Conclusion.....	39

Références bibliographiques

Annexes

Résumé

Liste des abréviations

Am	teneur en Amidon de la farine
CNIS	chiffres du Centre National de l'Information et des Statistiques des douanes
FAO	Food and Agricultural Organization
GH	Gluten Humide
Glu	Gluténine
GS	Gluten Sec
H	Humidité teneur en eau de la farine
MS	Matière Sèche
NIRS	Near Infra Red System
Pel	Pelshenke
PM	Poids moléculaire
SDS	Sodium Dodecyl Sulfate
SG-FPM	Sous unité Gluténine de Faible Poids Moléculaire
SG-HPM	Sous unité Gluténine de Haut Poids Moleculaire
SDS-PAGE	Sodium Dodecyl Sulfate Poly Acrylamide Gel Electrophoresis

Liste des tableaux

Tableau N°	Intitulé	page
Tableau 1 :	Consommation moyenne (kg/hab/an) algérienne de céréales entre 1961-2005	(3)
Tableau 2 :	Composition chimique du grain de blé.....	(8)
Tableau 3 :	Distribution histologique des principaux constituants du du grain de blé (Feuillet 2000).....	(8)
Tableau 4 :	La composition biochimique de la farine du blé tendre (D'après Atwell, 2001).....	(12)
Tableau 5 :	Liste des 29 farines de blé tendre commercialisés.....	(20)
Tableau 6 :	Types de diagrammes des sous unités Gluténines de Haut Poid moléculaire(HPM) observé chez la collection des farines de blé tendre étudiées.....	(37)
Tableau 7 :	Types de diagrammes des sous unités Gluténines de faible Faible poids moléculaire (FPM) observé chez la collection des farines de blé tendre étudiées.....	(38)

Liste des Figures

Figure N°	Intitulé	page
Figure 1 :	Origines possibles du blé d'après (Sears ,1954) et (Okamoto, 1962) (Auriiau et al., 1992).....	(4)
Figure 2 :	Production et Consommation Algérienne totale du blé entre 1961-2009.....	(5)
Figure 3 :	Structure du grain de blé tendre.....	(6)
Figure 4 :	Coupe d'un grain de blé.....	(7)
Figure 5 :	Farine de blé tendre.....	(11)
Figure 6 :	Structure de l'amylose et l'amylopectine (d'après Feillet 2000).....	(12)
Figure 7 :	Composition des protéines de la farine : rapprochement entre les classification d'Osborne(1907) et Shewry(1968).....	(14)
Figure 8 :	Teneur en Proteine (Prot) en % dans les farines étudiées. A : farine (1-15) ; B : farine (16-29).....	(26)
Figure 9 :	Teneur en Amidon (Am) en % dans les farines étudiées A : farine (1-15) ;B : farine (16-29).....	(28)
Figure 10 :	Teneur en Eau (H) en % dans les farines étudiées. A : farine (1-15) ; B : farine (16-29).....	(29)
Figure 11 :	Temps d'éclatement en min des farines étudiées. a : farine (1-15) ; b : farine (16-29).....	(30)
Figure 12 :	Volume de sédimentation en ml des farines étudiées. a : farine (1- 15) ; b : farine (16-29).....	(31)
Figure 13 :	La masse de la boule en g du gluten des farines étudiées. a : farine (1-15) ; b : farine (16-29).....	(33)

Figure 14 : Coefficient d'hydratation des farines étudiées.

a : farine (1-15) ; b : farine (16-29).....(34)

Figure 15 : Electrophorèse monodimensionnelle des gluténines par

SDS-PAGE. 1) Belghit 2) Kenza ;3) La blanche ;4) Moula

5) El thika ;6) El baraka ; 7) El makam ; 8) Sosemie ;

9) L'épi royale ; 10) El gazale ; 11) Tijalabine ; 12) Zabara ;

13) Tija 14) El beghlia ; 15) Zahra ; 16) Safina ; 17) Sim ;

18) Mama ; 19) La belle ; 20) Mexicalli ; 21) Benhamadi ;

22) El bassra ; 23) Bniharoune ; 24) SSG; 25) El bey;

26) Boussbaa ; 27) Ashwat ; 28) Sans gluten ;

29) De l'orge.....(36)



Introduction

Les produits céréaliers constituent la base de l'alimentation humaine dans la plupart des pays du monde, du fait qu'ils apportent la plus grande part des Protéines de la ration. Les céréales fournissent **57 %** de protéines consommées contre **23 %** apportées par les tubercules et les légumineuses ainsi que **20 %** par les produits d'origine animale (Godon B, 1982).

D'après (Anonyme A, 2002), les pays du Maghreb, notamment L'Algérie importent ses besoins en céréales et constituent de ce fait, le premier importateur mondiale du blé. Les céréales et leurs dérivés constituent l'épine dorsale du système alimentaire algérien. Ils fournissent plus de **60 %** de l'apport calorique de la ration alimentaire nationale (Talamalil, 2000). Le blé tendre représentent **60%** de la ration alimentaire du citoyen algérien, et ses habitudes alimentaires (pâte, biscuit, pain) font de lui un grand consommateur de cette denrée (Benbelkacem F., Saldi A., Brinis, 1995) (Diponzo N., Kaan F., Nachit M., 1993).

La qualité technologique du blé tendre (*Triticum aestivum* L.) et son amélioration sont parmi les principales préoccupations des céréaliers nationaux. La satisfaction des besoins de l'industrie agroalimentaire et des consommateurs est la condition de la qualité requise dans la transformation du blé. Ainsi, les variations des qualités technologiques des récoltes, liées particulièrement aux taux de protéines, peut pénaliser leur valorisation à l'exploitation. En fait, la qualité est un concept multiforme en totale évolution depuis quelques années, notamment pour les céréales comme le blé tendre. La qualité technologique du blé tendre dépend essentiellement de ses protéines de réserve, dont principalement le groupe des prolamines qui englobent les gliadines et les gluténines (Zahid, 2010). En effet, ces protéines sont déterminantes à la capacité du gluten de former son réseau viscoélastique, essentiel aux processus technologiques. Dans le gluten, les gliadines sont responsables de la viscosité du réseau alors que les gluténines agissent davantage sur son élasticité (Shewry, 1995).

Or, si le produit naturel n'est pas stable, le meunier s'engage, lui a fournir une farine de qualité qui soit régulière, et plus exactement des gammes de farine, qui permettent au boulanger d'appliquer ses recettes, dans les meilleures conditions.

Notre travail de master s'inscrit dans ce contexte qui a pour objectif l'appréciation de la qualité technologique des farines de blé tendre commercialisées en Algérie et l'étude de leurs caractères physicochimiques, technologiques et rhéologiques par l'utilisation de quelques tests de qualité.

Notre mémoire est composé de deux parties : La première partie qui est une étude bibliographique comporte deux chapitres : le premier chapitre est consacré aux généralités sur le blé tendre, tandis que le deuxième chapitre présente des généralités sur la farine. La deuxième partie est une étude expérimentale qui comporte deux chapitres : le premier chapitre est consacré aux matériel et méthodes utilisés dans les différents tests technologiques (Spectre IR, Test de Sédimentation SDS, Test de Pelshenke) et le deuxième chapitre présente les résultats et leur interprétation. Une conclusion et des perspectives sont enfin données.

Partie I

Etude Bibliographique

Chapitre 1

Généralités sur le blé tendre

1. Importance du blé

Les céréales occupent à l'échelle mondiale une place primordiale dans le système agricole. Elles sont considérées comme une principale source de la nutrition humaine et animale (Slama et al., 2005). Parmi ces céréales, le blé occupe la première place pour la production mondiale et la deuxième après le riz, comme source de nourriture pour les populations humaines, il assure 15% de ses besoins énergétiques (Bajji, 1999). Le blé est cultivé principalement dans les pays du bassin méditerranéen à climat arides et semi-arides là où l'agriculture est dans la plus mauvaise passe. Ces régions se caractérisent par l'augmentation de la température couplée à l'abaisse des précipitations, en plus la désertification et la sécheresse (Abeledo et al., 2008).

Actuellement, l'Algérie est un grand importateur de blé (Tableau 1) et se trouve dépendante du marché international. Cette situation risque de se prolonger à plusieurs années, faute de rendements insuffisants et des besoins de consommation sans cesse croissants devant une forte évolution démographique (Chellali, 2007).

Tableau 1 : Consommation moyenne (kg/hab/an) algérienne de céréales, entre 1961-2005 (FAO, 2007).

Périodes	1961	1970	1980	1990	2000	2003	2005
Consommation	110	120	182	193	190	201	215

2. Origine du blé tendre (*Triticum aestivum*)

Comme les autres céréales, Le blé est l'une des principales ressources alimentaires de l'humanité. Le blé est une monocotylédone qui appartient au genre *Triticum* de la famille des Gramineae. C'est une céréale dont le grain est un fruit sec et indéhiscence, appelé caryopse, constitué d'une graine et de téguments (Feuillet, 2000). Le blé est caractérisé par des critères morphologiques particuliers (chaume – épillet – présence de scutellum, etc) (Bonjean et Picard, 1990).

Le blé est composé de deux espèces ; Le blé dur *Triticum turgidum* var *durum* possédant ($2n=4X=28$ chromosomes), dont l'aire d'extension est surtout constituée de zones arides et semi-arides (figure 1), Le blé tendre *Triticum aestivum* var *aestivum* possédant ($2n=6X=42$ chromosomes) dont l'adaptation agrotechnique est très large (Bonjean et Picard, 1990). L'aire d'origine des blés est le proche Orient, dans la zone dite du Croissant fertile, l'Irak, la Syrie et la Turquie (Baldy, 1986). La diffusion du blé vers l'Europe, l'Asie et l'Afrique du Nord est très ancienne.

Le blé tendre (*Triticum aestivum*) est apparu entre 5000 et 6000 ans avant Jésus-Christ dans le croissant fertile puis s'est dispersé à partir de la Grèce en Europe (Doussinault et al., 1992).

C'est à partir de cette zone que les blés ont été diffusés vers l'Afrique, l'Asie et l'Europe. La route la plus ancienne de diffusion des céréales vers les pays du Maghreb fut à partir de la péninsule italienne et de la Sicile (Bonjean, 2001) (Boulal et al., 2007).

En Algérie, Léon Ducellier (1878-1937) en particulier, parcourant le blé, fit au début du siècle le recensement d'une flore mal connue. Il découvrit et analysa les nombreuses variétés, qui peuplaient les champs cultivés, recueillit les échantillons les plus caractérisés, les plus productifs, les plus résistants à la sécheresse ou à quelques maladies. Le blé tendre était inconnu en Afrique du Nord avant l'arrivée des français (Lery, 1982). Les blés ont d'abord évolué en dehors de l'intervention humaine, puis sous la pression de sélection qu'ont exercée les premiers agriculteurs (Henry et de Buyser, 2001).

D'après (Sears,1954) (Okamoto ,1962) (Auriou et al,1992), (Belaid ,1996), Feillet,2000) et De Buyser H., 2001), les deux espèces des céréales les plus cultivées sont :

- Le blé dur (*Triticum durum*) : AABB (2 n = 4 x = 28) Tétraploïde ;
- Le blé tendre (*Triticum aestivum*) : AABB DD (2 n = 6 x = 42) Hexaploïde.

La filiation génétique des blés est complexe et incomplètement élucidée. Le croisement naturel *Triticum monococcum* (génome A) X *Aegilops* (génome B) a permis l'apparition d'un blé dur sauvage de type AABB (*Triticum turgidum ssp. dicoccoïdes*), qui a ensuite progressivement évolué vers *Triticum turgidum ssp Dicoccum*, puis vers *Triticum durum* (blé dur cultivé). Les blés tendres cultivés (AABBDD) seraient issus d'un croisement, également naturel, entre *Triticum turgidum ssp, dicoccum* (AABB) et *Aegilops squarrosa* (DD) (Sears1954, Okamoto1962, Auriou et al., 1992).

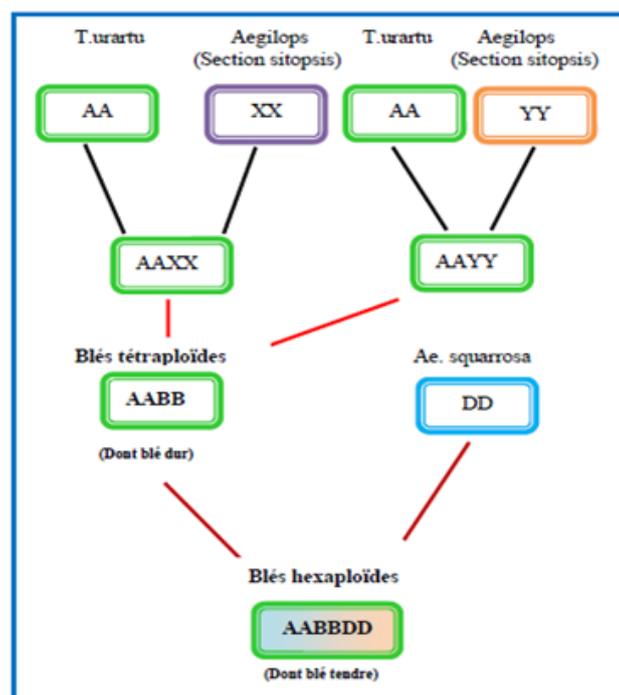


Figure 1 : Origines possibles du blé d'après (Sears ,1954) et (Okamoto ,1962) et (Auriou et al., 1992).

3. Production du blé mondiale et en Algérie

Le blé fait partie des trois céréales les plus cultivées dans le monde avec le riz et le maïs. La production mondiale de blé s'élève à 690 Mt en 2008. Le blé est la première céréale cultivée avec une production pour le blé tendre de 36.5Mt et de 2.1Mt pour le blé dur récolté en 2009. Les exportations de blé tendre pour la récolte de 2009 furent de 42%. Concernant les utilisations nationales du blé tendre, l'alimentation animale est le plus gros débouché (5.6 Mt) suivie de l'alimentation humaine avec 5 Mt. L'amidonnerie valorise 2.65 Mt, et le secteur des biocarburants, en constante augmentation, a utilisé 1.1 Mt de blé tendre en 2009. L'Algérie a produit 4,9 millions de tonnes de blé durant la saison 2012 -2013 contre 5,12 millions de tonnes lors de la campagne 2011-2012, 4,24 millions de tonnes en 2010-2011 et 4,5 millions de tonnes en 2009-2010, alors qu'une production record de 6,12 millions de tonnes avait été enregistrée en 2008-2009 (Figure 2). De même, L'industrie de transformation occupe une place « leader » dans le secteur des industries agroalimentaires, en raison des capacités importantes de triturations dont elle dispose, (+230%) par rapport à la taille du marché domestique, réparties entre les moulins publics (95%) et privés (135%), soit respectivement une capacité de trituration de l'ordre de 19000 et de 27 000 T/jour (Djermoun, 2009) La consommation des produits céréaliers se situent à un niveau d'environ 205 kg /hab/an (Chehat, 2007).

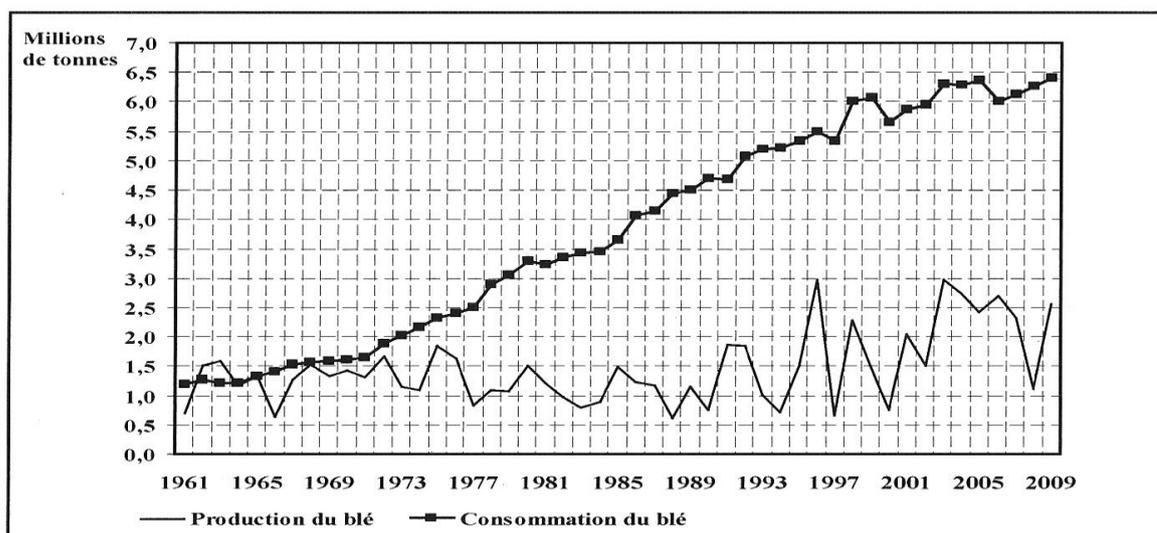


Figure 2 : Production et consommation algérienne totale du blé entre 1961 et 2009.

Les céréales et leurs dérivés constituent l'épine dorsale du système alimentaire algérien, et elles fournissent plus de 60% de l'apport calorifique et 75 à 80% de l'apport protéique de la ration alimentaire. C'est ainsi, au cours de la période 2001-2003, les disponibilités des blés

représentent un apport équivalent à : 1505,5 Kcal/personne/jour, 45,533 gr de protéine /personne/j et 5,43 gr de lipide/personne /J (Observatoire méditerranéens CEHEAM/IAMM). Dans ce contexte, les besoins de l'Algérie en céréales sont estimés à environ 8 millions de tonnes par ans.

L'Algérie est l'un des premiers importateurs de blé au monde, notamment le blé tendre, la demande locale reste importante. En termes de valeur, la facture des importations de blé a connu une stagnation en 2013 pour atteindre 2,12 milliards/dollars, soit la même valeur des importations de 2012. A travers ces chiffres, il a été constaté que les quantités de blé (tendre et dur) importées ont atteint 6,30 mt, enregistrant un léger recul de -0,66% par rapport à l'année 2012 où ont été réceptionnés 6,34. Alors que les détails montrent que les importations de blé tendre ont dépassé les 5,2 mt pour une valeur de 1,68 milliard/dollars, selon les chiffres du centre national de l'informatique et des statistiques (CNIS) des Douanes (Djermoun, 2009).

4. *Structure et composition chimique et biochimique du grain de blé tendre*

4.1. *Structure du grain*

Le grain de blé a une forme ovoïde et présente sur la face ventrale un sillon qui s'étend sur toute la longueur (Figure3). Il est obtenu après le battage, c'est-à-dire une fois que les balles enveloppant le grain ont été supprimées. A la base dorsale du grain, se trouve le germe qui est surmonté par une brosse. Le grain de blé mesure entre 5 et 7 mm de long, et entre 2,5 et 3,5 mm d'épaisseur, pour un poids compris entre 20 et 50 mg (Surget et Barron, 2005). Par ailleurs, selon (Calvel, 1983), la couleur de blé varie du roux au blanc. En rapport avec le pays d'origine, le sol, la culture et le climat. En outre, d'après (Emillie, 2007).

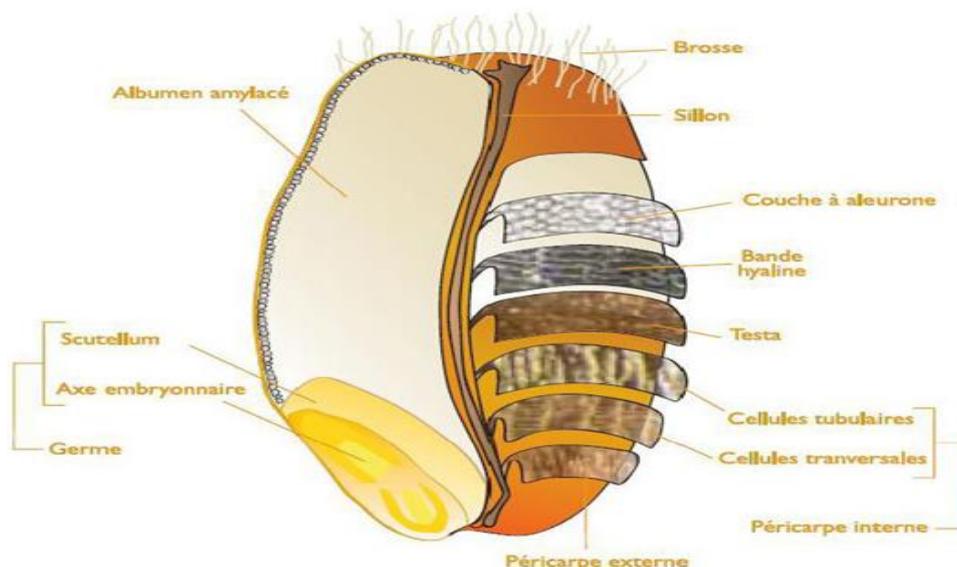


Figure3 : Structure du grain du blé tendre

Le grain de blé se compose de trois parties (figure 4)

- **Enveloppe**

L'écorce représente à elle seule 20% du poids du grain, elle est formée de plusieurs couche et l'on observe, au microscope de l'extérieur vers l'intérieur les zones suivantes(Figure4) :

- Le péricarpe qui constitue l'enveloppe, il est formé de plusieurs cellules à membrane épaisse.
- Le tégument séminal qui contient les colorants de blé (jaune ou roux), la bande hyaline qui est transparente lorsqu' on l'observe au microscope.
- L'assise protéique : qui est composée de cellule de taille moyenne, de forme cubique a paroi moins épaisse que celle du péricarpe et moins lignifiée.

- **Amande farineuse**

Encore appelée albumen, représente la majeure partie de blé, 77 à 80% du poids du grain, elle est limitée à sa partie inférieure par le germe. Elle est constituée d'un ensemble de cellules renferment les grains d'amidon, réunis entre eux par un réseau de gluten (Figure 4). C'est ce dernier qui confère à la farine la propriété de former une pâte élastique lorsqu'on y ajoute de l'eau. Lorsque l'on va de la périphérie de l'amande vers le centre. Les grains d'amidon deviennent plus nombreux.

- **Germe**

Il représente environ 3% du poids de la graine (Figure4), il constitue la future plante c'est un groupe riche en matière grasses, en sucres et vitamines (B et E) (Godon, 1982).

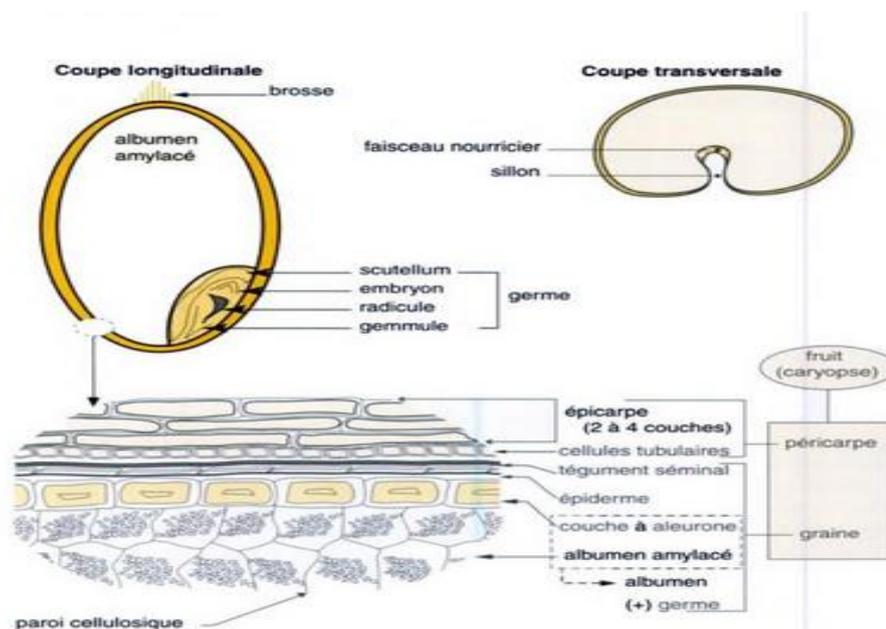


Figure 4 : Coupe d'un grain de blé

4.2. Composition chimique et histologique

Le grain de blé est principalement constitué d'amidon (environ 70%), de protéine (10 à 15% selon les variétés et les conditions de culture) et de pentosanes (8 à 10%) : les autres constituants, pondéralement mineurs (quelques % seulement) (Tableau 2), sont les lipides, la cellulose, les sucres libres, les minéraux et les vitamines (Feillet, 2000).

Tableau 2 : Composition chimique du grain de blé (limites habituelles de variation)

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

Ces constituants se répartissent de manière inégale au sein des différentes fractions histologiques du grain (Tableau 3). L'amidon se retrouve en totalité dans l'albumen amylicé, les teneurs en protéines du germe et de la couche à aleurone sont particulièrement élevées ; les matières minérales abondent dans la couche à aleurone.

Tableau 3 : Distribution histologique des principaux constituants du grain du blé (Feillet., 2000).

	Grain		Péricarpe ⁽¹⁾		Aleurone		Albumen		germe	
	%G	%T	%G	%T	%G	%T	%G	%T	%G	
Protéines	13,7	10	4,4	30	15,3	12,0	73,5	31	6,8	
Lipides	2,7	0	0	9	23,6	2	62,9	12	13,5	
Amidon	68,9	0	0	0	0	82	100	0	0	
Sucres réducteurs	2,4	0	0	0	0	1,8	62,7	30	37,3	
Pentosanes	7,4	43	35,1	46	43,8	1,6	18,3	7	2,9	
Cellulose	2,8	40	87,1	3	7,6	0,1	3,1	2	2,2	
Minéraux	1,9	7	22,6	12	43,6	0,5	22,6	6	9,7	

%G = % du constituant dans le grain ;

%T=% du constituant dans le tissu ;

(1) % du tissu dans le grain.

5. Transformation du blé tendre en farine

Les moulins d'aujourd'hui sont entièrement automatisés, une poignée d'hommes suffit à faire fonctionner un moulin moderne. Un moulin, peut, selon les cas, tourner 24 heures sur 24, 365 jours par an ou sur un rythme plus traditionnel. Certains moulins disposent d'un laboratoire intégré permettant de tester les qualités technologiques des blés. De même, des tests de panification sont souvent effectués pour vérifier que les qualités de la farine répondent aux attentes du boulanger.

Pour obtenir la farine souhaitée, chaque meunier met au point un diagramme de mouture, c'est-à-dire « un programme de réglage des machines » qui permet la fabrication de la farine en fonction des caractéristiques du blé reçu et de la farine souhaitée.

Pour bien comprendre le processus de fabrication de farine ou de transformation du grain de blé en farine, ou plus précisément du principe d'extraction de farine, il faut comprendre le parcours que le grain de blé effectue dès son arrivée au moulins (Doumandji A., Doumandji S., Doumandji M.B, 2003).

5.1. Parcours du grain de blé

5.1.1. Nettoyage du blé

Dès son arrivée au moulin (1), le blé est stocké dans de grands silos puis transporté par des élévateurs ou des bandes transporteuses jusqu'à des réservoirs. Ensuite, il est déversé dans les nettoyeurs séparateurs (2) lesquels éliminent les impuretés - terre, pierres, pailles, grains vides, poussières, autres graines...(3) (4) (5). Après l'avoir nettoyé, des trieurs permettent de ne conserver que les grains de blé purs. Les grains de blé sains sont humidifiés (6) pour faciliter la séparation de l'amande de ses enveloppes et reposent de 24 à 48 heures dans des boisseaux à blé propre avant d'être moulus.

5.1.2. Étapes de la mouture

Après le nettoyage, la transformation du grain de blé s'opère en trois étapes : le broyage, le claquage, le convertissage. Chacune de ces étapes représente plusieurs passages de blé dans les machines. Le produit de chaque passage successif est tamisé selon sa taille. Chaque opération complémentaire permet d'extraire un peu plus de farine. Environ quatorze opérations sont nécessaires pour obtenir la farine qu'attend le boulanger.

Pour obtenir ce résultat, un diagramme de mouture est défini par le meunier permettant de régler les machines en fonction des variétés de blé reçues et la qualité de farine souhaitée.

La mouture aboutit à la séparation du grain de blé en deux composants : les enveloppes d'un côté et l'amande (amidon) de l'autre. Pour parvenir à ce résultat, le blé suit le labyrinthe du diagramme de mouture complètement automatisé.

À la fin des opérations, la farine contient encore un faible pourcentage de matières minérales issues de l'enveloppe et de débris du germe qui déterminent le taux de cendres réglementaire.

Broyage

Le grain passe entre de gros cylindres métalliques, qui ont remplacés les meules d'autrefois. De multiples passages dans ces cylindres aux cannelures de plus en plus fines permettent de séparer l'enveloppe et l'amande. À chaque broyage, des tamis perfectionnés ou plansichters, séparent les produits et les classent selon leur taille.

Claquage

Il s'agit d'une réduction des semoules opérée par des cylindres lisses pour broyer les particules encore plus finement.

Convertissage

Ultime opération de plusieurs passages dans une série de cylindres lisses pour obtenir des produits fins jusqu'à la farine. C'est aussi le mélange des différentes farines obtenues à chaque étape de la mouture (farine de broyage, de claquage et de convertissage) qui donne la farine panifiable utilisée par le boulanger et que l'on appelle « farine entière ».

Chapitre 2

Généralités sur la Farine de blé tendre

1. Farine de blé tendre

La farine de blé tendre ou froment est le produit obtenu à partir des grains de blé tendre *Triticum aestivum* (figure 5). Le blé tendre est utilisé pour faire la farine panifiable utilisée pour le pain. Ce sous-secteur constitue l'une des bases de l'industrie agro-alimentaire en Algérie. En effet, la farine résulte de mouture et de broyage dans lesquels le son et le germe sont partiellement éliminés et le reste réduit en poudre suffisamment fine (Kellou R. 2008)



Figure 5 : Farine de blé tendre

2. Composition chimique de la farine du blé tendre

Il est important pour le meunier de pouvoir établir la carte d'identité de chacune de ses fabrications. Cela lui permet de classer ses farines et de répondre précisément aux besoins du boulanger. Chaque composant joue un rôle essentiel au moment de la fabrication du pain. On peut les comparer aux pièces d'un puzzle, qui, une fois réunies, assureront la qualité de la panification (Tableau 4). Parmi les pièces maîtresses, citons l'amidon, composant majeur, non seulement en quantité (il représente presque les deux tiers du puzzle) mais aussi dans le rôle qu'il tient au moment de la fermentation. Les protéines, bien qu'étant en quantité inférieure, jouent également un rôle essentiel dans la constitution du Gluten.

Tableau 4 : La composition biochimique de la farine du blé tendre (d'après Atwell, 2001)

Constituants	% matières sèche de la farine
Amidon	63-72
Protéines	7-15
Eau	13-16
Sucres	4.5-5
Matières grasses	1-2
Matières minérales	0.4-0.5

2.1. Amidon

C'est un sucre complexe, de la famille des glucides, contenant glucose et maltose. Le maltose sert de nutriment à la levure, lors du processus de fermentation. Il fait rarement l'objet de dosage, en laboratoire d'analyses, car on admet que sa quantité est toujours suffisante dans la farine, pour permettre une bonne fermentation.

L'amidon est le principale polysaccharide de réserve des végétaux supérieurs (grains de céréales, grains de légumineuses), le grain de blé et l'albumen en contiennent respectivement 67-68% et 70-82%. C'est l'un des polymères fonctionnels des plus importants aliments en raison de son pouvoir gélifiant, viscosifiant et fixateur d'eau. L'amidon de blé est le résultat du mélange de 2 polymères d'alpha D-glucose (figure 6), l'amylose (26-28%) et l'amylopectine (72%-74%).celle-ci est prépondérante par son poids, représentant environ 80% de l'amidon de blé.

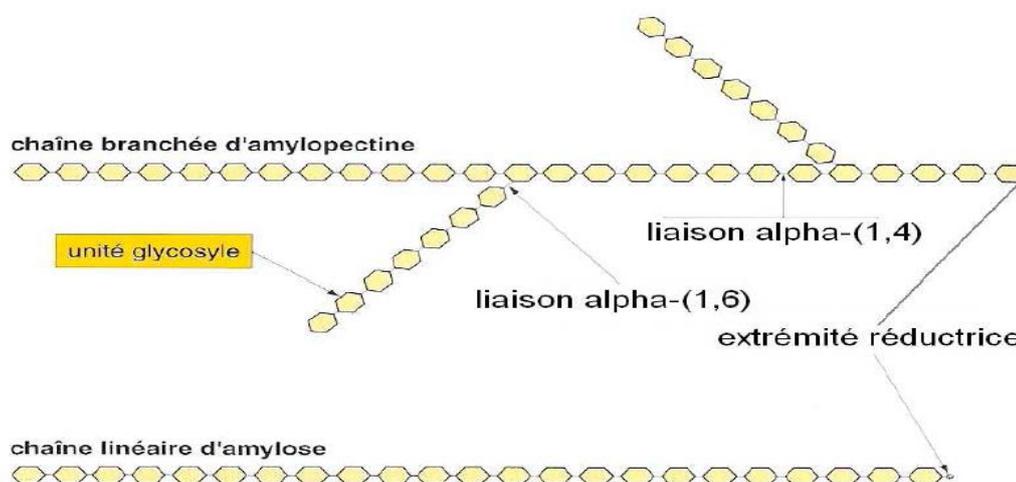


Figure 6 : Structure de l'amylose et l'amylopectine (d'après Feillet 2000).

2.2. Eau

Quantitativement, l'eau est le deuxième constituant de la farine. On peut s'en étonner car sa présence n'est détectable ni à l'œil, ni au toucher ! Et pourtant, un sac de 50 kilogrammes de farine contient en moyenne de 7 à 8 kg d'eau. Il reste donc de 42 à 43 kg de matières sèches. L'eau est contenue naturellement par le grain de blé. Elle peut aussi être apportée (en très faible quantité) avant la mouture. Elle sert alors à préparer le grain de blé à l'écrasement, assouplissant les enveloppes. Moins de 16%, le taux d'humidité de la farine est un facteur important de conservation et de stockage.

Il est essentiel de connaître la teneur en eau, appelée aussi humidité, pour plusieurs raisons. Connaître la teneur en eau permet de calculer facilement la teneur en matière sèche (% de matière sèche = 100 - % teneur en eau). Or, la teneur de certains composants de la farine est exprimée uniquement sur matière sèche. C'est le cas des protéines et des matières minérales. Connaître la teneur en eau permet de vérifier la conformité à la réglementation. Elle ne doit pas dépasser 16%. Au-delà, il y a risque d'altération de la farine.

2.3. Protéines

Osborne, en 1907, a été le premier à s'intéresser à la classification des protéines du grain de blé. En 1924, il définit quatre groupes de protéines caractérisés par leur solubilité dans différents milieux (Osborne, 1924) :

- Les Albumines qui sont solubles dans l'eau.
- Les Globulines qui sont solubles dans les tampons salins.
- Les Gliadines qui sont solubles dans une solution d'alcool à 70%.
- Les Gluténines qui sont solubles dans une base ou un acide ou des détergents en présence d'un réducteur.

Cette classification a été revue en 1986 par Shewry et collaborateurs qui ont proposé deux grandes catégories :

- Les protéines métaboliques (protéine de structure) : les Albumines et Globulines
- Les protéines de réserves : les Gliadines et les Gluténines (figure 7).

2.3.1. Protéines métaboliques (les Albumines et Globulines)

Les albumines et globulines représentent 15 à 20% des protéines présentes dans la farine de blé et sont solubles respectivement dans l'eau et les tampons salins. Ce groupe de protéines est très diversifié de par ses propriétés physicochimiques (compositions en acides aminés, points isoélectriques et poids moléculaires). Ces protéines participent à la formation du grain et à l'accumulation des réserves dans l'albumen (Vensel et al. 2005).

2.3.2. Protéines de réserves (Proteines du Gluten)

Les protéines de réserves font partie des prolamines et sont constituées par un mélange complexe de protéines. Chez le blé, les gènes codant pour ces protéines sont situés sous forme de « cluster » de 2 à plus de 40 séquences codantes dépourvues d'introns sur les bras courts et longs des chromosomes du groupe 1 et les bras courts des chromosomes 6A, 6B et 6D. Ces protéines ont largement été étudiées du fait de leur relation avec la qualité technologique du blé. Une synthèse bibliographique a été rassemblée par Wrigley, Békés et Bushuk en 2006 dans l'ouvrage « Gliadin and Glutenin : the unique balance of wheat quality ». Les prolamines regroupent d'une part les protéines monomériques (les Gliadines) et d'autre part les protéines polymériques (les Gluténines) qui sont-elles mêmes constituées de deux sous-groupes : les sous unités de Gluténines de haut poids moléculaire (SG-HPM) et les sous unités de gluténines de faible poids moléculaire (SG-FPM). D'une manière générale, la proportion entre ces différentes prolamines est la suivante : 40% de Gliadines, 40% SG-FPM et 20% de SG-HPM.

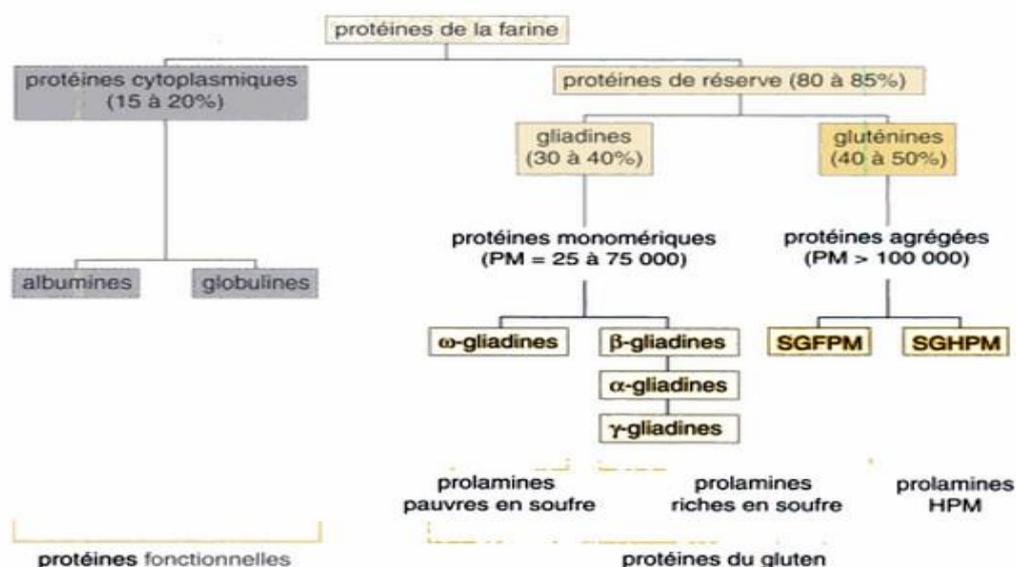


Figure 7 : Composition des protéines de la farine : rapprochement entre les classifications d'Osborne(1907) et de Shewry et al(1986).

Ces protéines ont aussi été classées selon leur composition et séquences. On distingue :

- les prolamines riches en soufre
- les prolamines pauvres en soufre
- les prolamines de haut poids moléculaire (figure 7)

Les prolamines riches en soufre représentent 70% des prolamines et sont constituées des gliadines de type α , β , γ et des SG-FPM. Les prolamines pauvres en soufre représentent entre 10 et 12% des prolamines totales et sont exclusivement constituées des gliadines de type ω . Les prolamines de haut poids moléculaire représentent 20% des prolamines.

Les SG-HPM peuvent être de deux types différents : x et y. Ces prolamines ont la capacité de former des structures polymériques avec les SG-FPM et certaines gliadines par l'intermédiaire de ponts disulfures. La masse du réseau polymérisé, en fonction des allèles de gluténines et gliadines, va de 600000 Da à plus de 107Da.

2.4. Matières minérales

On parle de matières minérales, par opposition aux matières organiques qui contiennent notamment l'élément carbone. Les minéraux sont classés en 2 catégories :

- les minéraux majeurs ou macroéléments. Ce sont le calcium (Ca), le magnésium (Mg), le phosphore (P), le potassium (K), le sodium (Na). Ils sont tous présents dans la farine.
- Les oligoéléments ou éléments traces, plus nombreux, mais en très petite quantité. La farine contient notamment du fer, du cuivre, du zinc.

Un grain de blé contient de 1,6 à 2,1 % de matières minérales. On les trouve majoritairement dans les enveloppes.

La pureté de la farine se juge d'après sa teneur en résidu minéral. Les Matières minérales de la farine apparaissent lorsqu'on calcine de la farine : après calcination, les résidus se retrouvent sous la forme de cendres. Comme les matières minérales existent en plus grande quantité dans les enveloppes du blé, on conclut que moins qu'il y a de cendres, plus que la farine est pure.

2.5. Pentosanes (polysaccharides non amylacés)

Beaucoup plus moins abondants que l'amidon, ces glucides ont cependant un effet notable sur le pouvoir d'hydratation de la farine. Les pentosanes se distinguent par leurs caractéristiques de solubilité ou d'insolubilité dans l'eau et également par leur structure arabinoxylanique ou arabinogalactanique. Ils sont liés de manière covalente avec une protéine pour former une

glycoprotéine qui, une fois en solution n'est pas dénaturée par la chaleur et participe avec l'acide férulique au phénomène du gel durant la cuisson de la pâte. Ils joueraient un rôle important dans l'augmentation du volume du pain.

2.6. Lipides

Les lipides représentent 1.4 à 2% de la matière sèche de la farine de blé conventionnellement, ils sont classés selon leur extractibilité dans différents solvants (Ritchie .A et Gras, 1973 ; Chung et al. 1978). On distingue:

- **Lipides libres** : (70%) c'est la fraction lipidique qui peut être extraite directement par les solvants apolaires (éther de pétrole, hexane...). Cette fraction est constituée majoritairement de lipides apolaires qui sont les lipides de réserves du grain de blé. Ils sont constitués de triacylglycerol, de faible quantité de diacylglycerol, de monoacylglycerol et d'acide gras libres.
- **Lipides liés** : (30%) correspondant à la fraction extractible avec les solvants polaires, cette fraction interagit avec les autres constituants de la farine par des liaisons hydrophobes. Elle est constituée majoritairement de lipides polaires qui sont les lipides de structure du grain de blé, ils comprennent essentiellement des glycolipides et des phospholipides.

2.7. vitamines

Une farine complète de blé tendre contient la totalité des vitamines initialement présentes dans le grain. Une farine dont le taux d'extraction est de 75 à 80 % contient environ 20 % de la vitamine (B6), 25 % de biotine, 30 % d'acide nicotinique (B1), 55 % de l'acide pantothénique (B12) et 70 % de la vitamine E (Boenet F, 1992).

2.8. Enzymes

Les enzymes sont présentes en petites quantités dans la farine les plus courantes sont Les protéases, les lipases, les amylases, les peroxydases et les catalases (CHEFTEL C, 1977).

- **Protéases**

Enzymes agissant sur la structure des protéines (LAHBABI A., Abdel Ilah JIB M., Yahya Moussa M, 2004) ; leur présence dans la farine est liée à la germination du grain qui n'est pas souhaitable (Grandvoinnet P., Praix B., 1994).

- **Lipases**

Les lipases distribuent les caroténoïdes sous une réaction d'oxydation et entraînent une décoloration du pain qui devient blanche (Cheriet G., 2000).

- **Amylases**

Les deux enzymes qui contrôlent la fermentation panair sont la β - amylase et α amylase, la présence de l' α amylase étant généralement constante et suffisante. Seule l'action de l'amylase a besoin d'être contrôlée soigneusement (Feillet P, 2000).

3. Caractéristique de la farine

Selon (Doumandji A et al, 2003), les caractéristiques de la farine sont les suivantes :

3.1.Caractéristique organoleptique

Le but de la détermination des caractères organoleptiques est de rechercher l'état de conservation et la détermination de la pureté.

3.1.1. Essai au touché

L'essai au touché consiste à serrer dans la main une poignée de farine puis ouvrir et observer : la farine de blé tendre forme une espèce de pelote.

3.1.2. Odeur

Il s'agit de préparer un pâton avec de l'eau tiède et sentir. L'odeur de la farine est franche, agréable, analogue à celle de la noisette. Les farines bises ont une odeur qui rappelle celle du son. Une odeur acide, rance, acre indique que la farine est ancienne, et une odeur de moisi indique que la farine est en voie d'altération.

3.1.3. Saveur

La saveur normale est agréable et caractéristique douçâtre avec arrière-goût amer pour les queues de la mouture. Des altérations déjà prononcées la modifient.

L'addition de farine étrangère peut être aussi décelée ainsi que celle de graines parasites (mélilot,..). La farine ne doit pas crisser sous la dent (sable).

3.1.4. Couleur

La couleur varie avec le taux d'extraction et avec la nature de blé. La farine dont le taux d'extraction moyen (70%) est blanche. Si le taux d'extraction est élevée (80% et plus), la couleur varie du crème au marron claire. Cette couleur indique la présence de piqûres.

3.2. Caractéristiques physico-chimique

3.2.1. Taux de Protéine (Prot)

La teneur en protéine est déterminée par un appareil « NIRS (near infra red system) » où les mesures sont faites en transmission ou en réflexion dans une plage spectrale en proche infrarouge [1400-2500nm] d'un échantillon broyé. La détermination de cette teneur nécessite un étalonnage préalable mémorisé dans un microprocesseur à l'aide de l'échantillon, de composition connue et un traitement mathématique du spectre résultant de l'analyse de l'échantillon inconnu. Les résultats sont exprimés en (%) de protéine par rapport à la matière sèche (représentent la moyenne de 3 répétitions).

3.2.2. Taux d'Amidon (Am)

Ce taux est déterminé par l'appareil (NIRS) par transmission en proche infrarouge (IR) [1400-2500nm]. Les résultats sont exprimés en (%) d'amidon par rapport à la matière sèche.

3.2.3. Taux d'Humidité (H)

La teneur en eau est mesurée à l'aide d'un appareil à IR (NIR) et selon les mêmes conditions de mesure. Les résultats sont exprimés en (%) d'humidité par rapport à la matière sèche.

3.3. Caractéristique Technologique

3.3.1. Test de Pelschenke

Ce test qualitatif permet de déterminer le temps nécessaire pour qu'une boule de pate (mélange farine+levure) trempée dans de l'eau sous l'effet de la levure et la température à 32°C, éclate. Les boulettes gonflent, remontent en surface, puis au bout d'un certain temps se disloquent et retombent. Cet indice varie en fonction de nombreux paramètres : température, temps de pétrissage, type de levure, type de mouture... Ce test révèle la qualité de la farine : plus la durée d'éclatement est longue, plus la qualité des protéines est bonne (richesse en Gluten).

3.3.2. Test de Sédimentation SDS

L'indice de sédimentation (SDS) permet de donner une idée sur la force d'une farine. Il est Basé sur la lecture du volume (en ml) du dépôt formé suite à une série d'agitation et au gonflement des protéines, dans des conditions bien définies, de 6 grammes de la farine de l'échantillon testé,

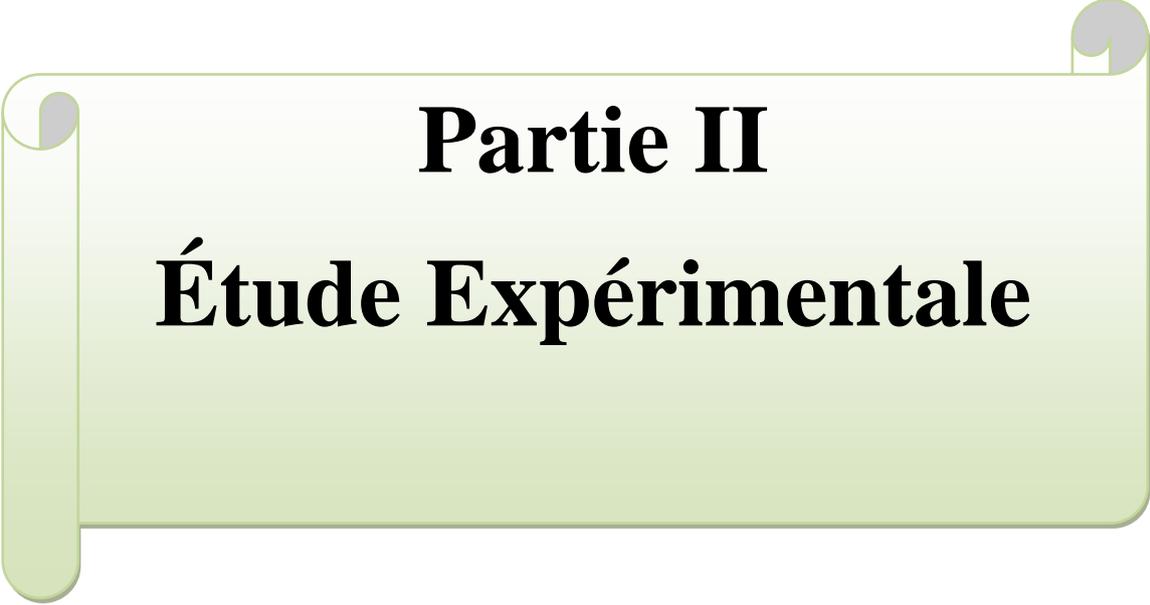
dans une solution à base de Sulfate Dodecyl de Sodium (SDS). Cet indice est déterminé par Axford et Redman (cette dernière a été publiée dans *Cereal Chemistry*, 56 : 582-584 en 1979), le principe repose sur l'aptitude du gluten à gonfler en milieux aqueux et coaguler dans un milieu acide à l'aide d'une solution SDS-acide lactique, la valeur obtenue détermine donc la viscoélasticité du blé (monneveux, 1984).

3.3.3. Test de Gluten humide et Gluten sec

La teneur en protéines est une qualité importante des farines recherchée par les industriels céréaliers pour leur rôle important dans la formation de la pâte.

Les deux principale protéines du Gluten sont les Gliadines et les Gluténines dans des proportions variables, la variabilité du gluten tant en qualité qu'en quantité est grande et dépend de la variété de blé, lieu de culture, conditions climatiques.

Le Gluten est dosé après séparation manuelle de l'amidon, en pétrissant une petite quantité de pâte sous un filet d'eau. L'amidon est peu à peu entraîné par l'eau et il ne reste finalement qu'une masse compacte blanc crème, souple, extensible, et très élastique.



Partie II
Étude Expérimentale

Chapitre 3

Matériel et Méthodes

1. Matériel biologique

L'étude a porté sur une collection de 29 farines de blé tendre commercialisées en Algérie et sont conditionnées dans des sacs en papier d'une contenance d'1 kg. Les échantillons sont achetés du marché et sont retenus pour apprécier la qualité technologique de la farine de blé tendre et son rôle dans la panification (Tableau 6).

Tableau 5 : Liste des 29 Farines de blé tendre commerciales

N°	Noms de farine	N°	Noms de farine
1	Belghit	16	Safina
2	Kenza	17	Sim
3	La blanche	18	Mama
4	Moula	19	La belle
5	El-thika	20	Mexicalli
6	El-baraka	21	Benhamadi
7	El-makam	22	Al-bassra
8	Sosemie	23	Bniharoune
9	L'épi royal	24	SSG (semoulerie Soummam grain)
10	El-gazal	25	El-bey
11	Tijalabine	26	Boussbaa
12	Zabara	27	Ashwat
13	Tija	28	Farine sans gluten
14	El-baghlia	29	Farine de l'orge
15	Zahra		

2. Méthodes utilisées

2.1. Analyse technologique

2.1.1. Spectroscopie proche infrarouge

Cette analyse consiste à mesurer par infrarouge les paramètres suivants de la farine : l'humidité, l'amidon, le taux des protéines.

C'est une méthode rapide couramment utilisée en moulin est réalisée par un instrument d'analyse de composition (Inframatic). On introduit une petite quantité de farine dans la cellule de mesure puis on lance l'analyse. Les résultats apparaissent à l'écran.

▪ **Taux de Protéines (Prot)**

Le taux de protéines est mesuré à l'aide d'un appareil à infrarouge (analyseur NIR INFRAMATIC). L'analyse se fait par réflexion en proche infrarouge [1400-2500nm] d'un échantillon, avec étalonnage préalable mémorisé dans le microprocesseur intégré. Les résultats sont exprimés en pourcentage (%) de protéines par rapport à la matière sèche, ils représentent la moyenne de trois répétitions.

▪ **Taux d'Amidon (Am)**

Le taux d'amidon est mesuré par l'appareil (NIR), par réflexion en proche infrarouge [1400-2500nm]. Les résultats à trois répétitions sont exprimés en pourcentage d'amidon par rapport à la matière sèche.

▪ **Taux d'Humidité (H)**

Le taux d'humidité est mesuré à l'aide du même appareil à infrarouge (NIR) et selon les mêmes conditions de mesure. Les résultats sont exprimés en pourcentage d'humidité par rapport à la matière sèche et sont la moyenne de trois répétitions.

2.2. Tests technologiques

Ces tests technologiques sont étudiés couramment en sélection.

2.2.1. Test de Pelshenke (Pel)

C'est un test de rhéologie qui mesure un développement de la pâte sous l'action d'un gaz dû à la fermentation. Ce test indirect d'appréciation de la qualité boulangère est réalisé à température constante et homogène de 32°C. C'est un test simple qui est fonction de la qualité du gluten et de celle des sucres fermentescibles. La boule formée est laissée à fermenter dans un verre d'eau à 32°C. L'indice de Pelshenke, qui est le temps nécessaire pour obtenir la rupture de la boule, est d'autant plus élevé que le blé est de force. Ce test, assez largement utilisé par les sélectionneurs en Europe, s'est révélé particulièrement apte à refléter des différences de qualité attribuables à la composition en gluténines de la farine (Branlard et al, 1984).

On additionne 10g de farine à 6ml de suspension de levure à 10%, on pétrit l'ensemble pendant 1min 30sec. Puis le pâton est séparé en deux boulettes identiques (2 répétitions) qui sont plongées dans des verres d'eau permutée et tempérée à 32°C.

Sous l'effet de la levure et de la température de 32°C, les boulettes de pâte gonflent, remontent en surface, puis au bout d'un certain temps se disloquent et retombent (Annexe 5).

L'indice Pelshenke représente le temps exprimé en minutes, écoulé entre la mise de la boulette dans le verre et sa dislocation.

Cet indice varie en fonction de nombreux paramètres : température, temps de pétrissage, type de levure.....etc.

Pour interpréter les résultats obtenus, on se réfère à l'échelle suivante :

- < 30 mn : mauvaise qualité boulangère
- 30-50 : moyennes
- 50-90 : bonnes
- 90-150 : très bonne
- >150 mn : blé améliorant.

2.2.2. Test de Sédimentation SDS

C'est un test physico-chimique utilisé pour apprécier la capacité de solubilisation et de polymérisation des protéines dans un solvant polaire. L'indice de sédimentation mesure l'étendue de la formation du gel protéique (gonflement), il correspond au volume en millilitre. Son principe demeure identique à celui du Zeleny, l'extraction et le gonflement des protéines d'une farine complète se font avec un détergent très actif : le sodium dodécyl sulfate. En fait, ce test, qui demeure très influencé par la teneur en protéines du grain, permet néanmoins d'apprécier indirectement un aspect de la qualité, car il est corrélé à la force boulangère.

Le principe est la mesure de la hauteur de sédimentation de 6g de farine entière en suspension dans un milieu acide contenant du Sodium Dodecyl Sulfate (SDS) : 20g de SDS sont dissout dans 1 litre d'eau et 20 ml d'acide lactique (1 volume d'acide lactique pour 8 volumes d'eau). Cette prise d'essai de 6g de farine est introduite dans un cylindre gradué dans lequel sont rajoutés 50 ml d'eau à 22°C. Toutes les opérations, sauf l'agitation, se passent dans un bain marie à 22°C. Après des temps déterminés d'agitation et de repos, le volume de farine sédimenté est mesuré en ml. L'agitation est manuelle et la lecture se fait en l'absence de colorants. Le dépôt de sédimentation est d'autant plus important que la quantité de protéines soit élevée et que celles ci ont une forte capacité d'hydratation (Annexe 6). Les valeurs utilisées correspondent à la moyenne de deux répétitions.

2.2.3. Test du Gluten humide et sec

Le Gluten est un composé principal de la fraction protéique des blés, insoluble dans les solutions salines, c'est une substance plastoélastique. Il est considéré comme moyen d'estimation de la qualité de la pâte.

La teneur en gluten a été déterminée selon le protocole de (Mauze et al, 1972), à partir de 10g de farine, on ajoute 5ml d'eau distillée salée à 10% de NaCl et à l'aide d'une spatule un pâton est formé, l'extraction de gluten s'effectue alors par lixiviation manuelle sous un mince filet d'eau. Le gluten humide résultant est essoré, pesé puis séché à l'étuve et en suite repesé. La teneur en gluten sec sera exprimée en pourcentage (%) de matière sèche.

2.2.4. Capacité d'hydratation du Gluten

La capacité d'hydratation (Ch%) représente le pourcentage d'eau contenue dans le gluten humide, il nous donne une indication sur la capacité du gluten à retenir l'eau.

Selon (Godon et Loisel, 1984), la détermination de la capacité d'hydratation se fait par la relation :

$$\text{Ch} = \frac{\text{GH} - \text{GS}}{\text{GH}} \times 100$$

- GH: Gluten Humide
- GS : Gluten Sec
- Ch : Coefficient d'hydratation

Le gluten sec est obtenu après déshydratation à étuve à 150° C

2.3. Technique d'électrophorèse

2.3.1. Principe

Les techniques électrophorétique sont basées sur le principe de la mobilité différentielle des molécules protéiques dans un support soumis à un courant électrique. Cette mobilité est en fonction de la charge électrique, de la dimension et la forme des protéines, de l'intensité du champ électrique, la température de l'électrolyte.

2.3.2. Extraction des protéines de réserve

L'extraction séquentielle des gluténines est réalisée selon la méthode de (Singh et al, 1991). Cette méthode décrit une procédure simplifiée pour la séparation des sous-unités gluténines.

Elle permet une meilleure résolution de SG-HPM et SG-FPM et est testée sur des variétés de blé tendre. Les modifications apportées par cette méthode ont permis la séparation des gluténines avec seulement une légère contamination des protéines des autres classes et l'obtention de gluténines hautement purifiées au bout de 3 heures. Trois solutions de base sont nécessaires, (ANNEXE 1) (Anjum F.M., Khan R.M., Din A., Saeed M., Pasha I and Arshad M.U., 2007).

Toutes les extractions protéiques (non réduites et réduites), l'alkylation des groupes SH et le traitement des extraits de propanol avec le tampon SDS sont portés à une température égale à 65°C dans les tubes eppendorf. Ensuite les échantillons sont centrifugés à 10000g.

2.3.3. Extractions des Gluténines

Les gluténines sont extraites (30 min) à partir du résidu dans une solution B1 (0.1 ml) contenant 1% P/V Dithiothréitol (DTT) ajouté a l'état frais après une bonne agitation au vortex. Après 5 minutes de centrifugation, la solution B2 (0.1ml) contenant 1.4% (V/V) du 4- vinylpyridine mélangé à l'état frais est ajoutée à chaque tube, lequel est incubé pendant 15 minutes pour une alkylation des protéines.

L'échantillon est ensuite centrifugé (2min) et un aliquote (0.1ml) de surnageant est transféré dans un autre eppendorf contenant la solution C (0.1ml). Ce même échantillon est agité brièvement ensuite incubé (15min) pour une complexation du SDS avec le polypeptide des gluténines réduites et alkylées. Après la centrifugation (2min), les extraits protéiques sont déposés dans les puits du gel pour une séparation SDS-PAGE des sous-unités gluténines (ANNEXE 2).

2.3.4. Electrophorèse monodimensionnelle des Gluténines par SDS-PAGE

La technique d'électrophores utilisée est celle proposée par (Laemmli, 1970) modifiée par (Payne et al, 1979). La séparation se fait sur gel vertical en système discontinu, en présence de Sodium Dodecyl Sulfate (SDS).

Les ponts disulfures sont rompus par l'action du DTT et les liaisons faible sont détruites par le SDS, ce ci abouti à la formation d'un complexe SDS- protéine dénaturée, le SDS a pour but de masquer la charge des protéines par une charge négative, il annule ainsi le fractionnement en fonction de la charge électrique, et assure donc une séparation selon la taille, la conformation et la masse moléculaire (Beccari I. B., 1745).

• Préparation des gels

La technique SDS-PAGE nécessite la préparation de deux types de gels : un gel de séparation à $T=12.8\%$ et un gel de concentration à $T=2.8\%$. Ces deux gels sont préparés à base d'acrylamide à 35% (p/v), de N, N'-méthylène bis-acrylamide à 2% (p/v), du SDS à 10% (p/v) et de Tris-HCl 1M, tamponnés à pH 8.8 pour le gel de séparation, et à pH 6.8 pour le gel de concentration. Ces deux gels sont polymérisés en présence de catalyseurs, le TEMED et de l'APS. (Annexe 4)

Le gel de séparation (separating gel) permet la séparation des protéines selon leur poids moléculaire, alors que le gel de concentration (stacking gel) permet de stocker les impuretés et de tasser les protéines avant leur entrée dans le gel de séparation.

On prépare le gel de séparation en premier puis on le coule entre deux plaques de verre verticales, en laissant un vide d'environ 4 cm pour le gel de concentration, à fin de niveler la surface du gel de séparation et de le protéger de l'air, on ajoute une fine couche de butanol. La polymérisation s'effectue à une température ambiante pendant environ 45 minutes. Ensuite, le gel de concentration est préparé, bien mélangé puis coulé au dessus du gel de séparation après avoir éliminé la couche de butanol, puis des peignes à 15 puits sont délicatement insérés. Le gel de concentration prend en l'espace de 20 à 40 min, les peignes sont retirées soigneusement pour ne pas détruire les puits formés, on verse le tampon (Annexe 3) dans les puits puis on procède au dépôt des échantillons à raison de $15\mu\text{l}$.

• La migration

Le bac supérieur qui porte les deux plaque est rempli de tampon de migration (Annexe 3) à un niveau qui dépasse celui des gels, on le place dans la cuve d'électrophorèse ou le bac inférieur, rempli au paravent de solution de tampon de tel sorte que les faces inférieurs des gels soient immergés. La cuve d'électrophorèse est maintenue à une température constante à 4°C grâce à un système de refroidissement. Le gel de dimension $180 \times 105 \times 1.5$ mm est soumis à une intensité constante de 40 mA, et une tension variable ne dépassant jamais le maximale de 1200 v. Les protéines chargées négativement migrent vers l'anode et sont séparées selon leur encombrement moléculaire. La migration est arrêtée généralement 30 min après la sortie du front coloré.

• Coloration et décoloration des gels

Les gels sont recouverts de solution de coloration contenant un fixateur de protéines le TCA à 60% et le bleu de Coomassie R250 à 1% (p/v) (Annexe3), ils sont placés en agitation pendant 24h. Les gels sont ensuite décolorés par l'eau de robinet.

Chapitre 4

Résultats et discussion

1. Analyses physico-chimiques et technologiques

L'ensemble de nos résultats est illustré dans les histogrammes suivants.

1.1. Spectroscopie proche infrarouge

1.1.1. Taux de Protéines totales (Prot)

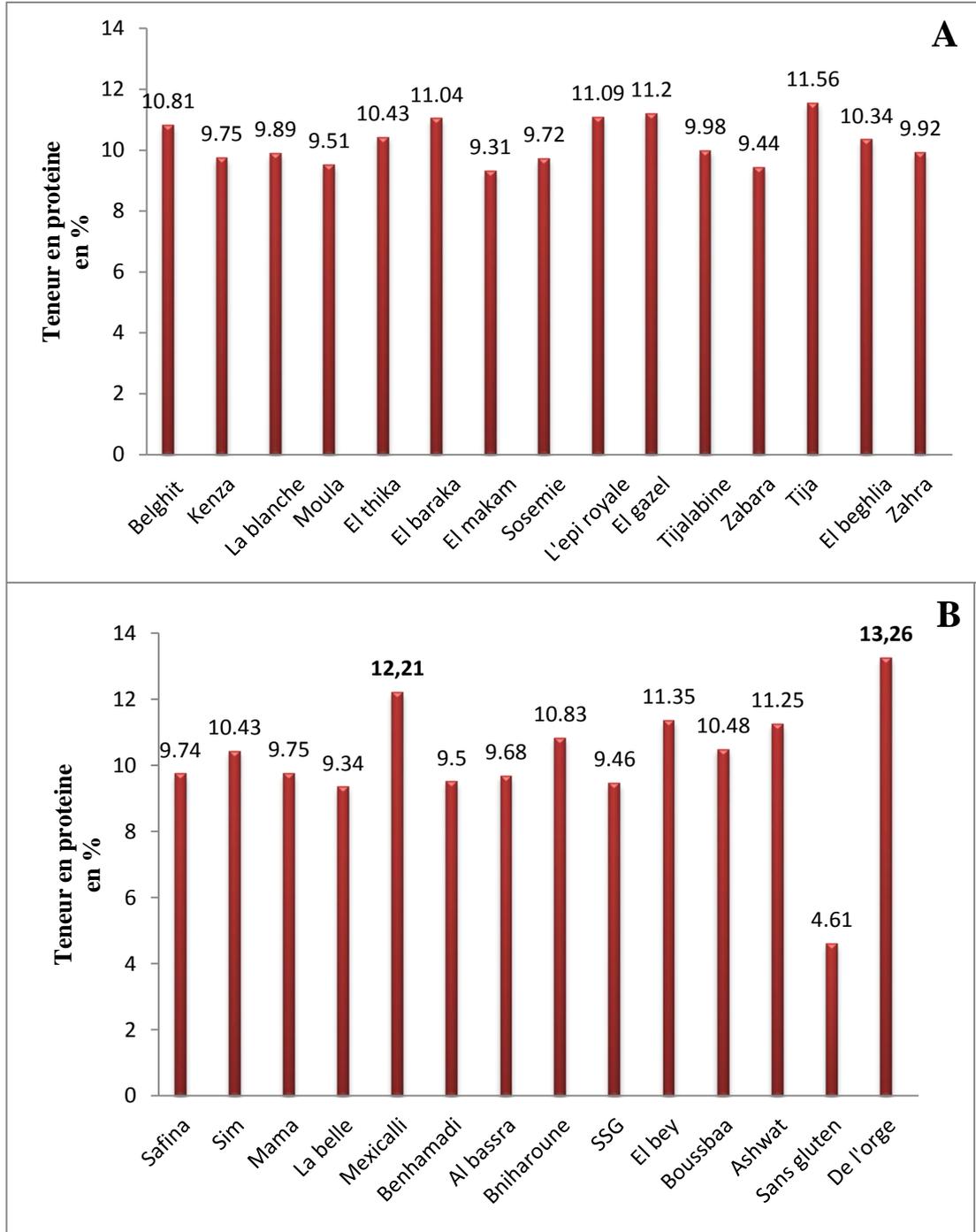


Figure 8 : Teneur en Protéines (Prot) dans les farines étudiées: A : farines (1-15) ; B : farines (16-29).

La connaissance de la teneur en protéines donne une bonne information sur la capacité technologique de la farine (Chene, 2001) car elle exerce une influence considérable sur les propriétés viscoélastiques des pâtes et sur la qualité du pain (Feillet, 2000). C'est aussi un paramètre important sur le plan nutritionnel, en particulier car les céréales rentrent pour une part importante dans la ration alimentaire de la population, elle varie en fonction de la variété, des conditions de culture et le stade de maturité des grains (Selselet, 1991).

Nous relevons des teneurs en protéines relativement faibles. Ces teneurs vont de 9.31% à 12.21%, la valeur la plus élevée est observée pour la farine Mexicalli par contre la valeur la plus faible étant notée pour la farine el-makam avec 9.31% (figure 8).

Les teneurs en protéines les plus élevées sont observées chez les farines : Farine de l'orge 13.26%, Tija 11.56%, el-bey 11.35%, Ashwat 11.25%, alors que les plus faibles sont obtenues pour les farines : farine sans gluten 4.61%, La belle 9.34% et el-makam 9.31%.

Cependant, les teneurs en protéines enregistrées sont dans les normes établies par Atwell (2001). Ainsi, la teneur en protéines des farines de blé destinées à la fabrication de produits de cuisson varie de 7 à 15% de matière sèche, ce qui est en accord avec les teneurs moyennes en protéines des Farines obtenues. Nos résultats se trouvent au dessus de la limite minimale 9.31%. D'après (Colas, 1997), la panification est impossible lorsque la teneur des farines en protéines est inférieure à 7%.

Par ailleurs, (Dacosta, 1986), montre que la teneur en protéine n'est pas un critère fidèle de la qualité boulangère. Cette dernière est régie par la qualité du gluten (taux de gluténines et le rapport gluténines /gliadines).

1.1.2. Taux d'Amidon (Am)

L'amidon est le principal constituant de la farine, son rôle nutritionnel est d'une grande importance car il renferme la principale source de calories après hydrolyse digestive (Dali youcef. Net gouyat.K., 1991).

Selon les histogrammes de la (figure 9), la teneur en amidon la plus élevée 74.73% est obtenue pour la Farine sans gluten et la plus faible pour la farine Tija de l'ordre de 65.8%. D'après les résultats obtenus, on remarque que la majorité des farines présentent des teneurs en amidon très importantes variant entre (70.23) pour la farine Sosemie, (70.20%) pour la farine Benhamadi et la farine Zahra et 66% pour la farine Ashwat par rapport à l'intervalle établi par (Atwell, 2001) qui varie entre 63 et 72% de matière sèche.

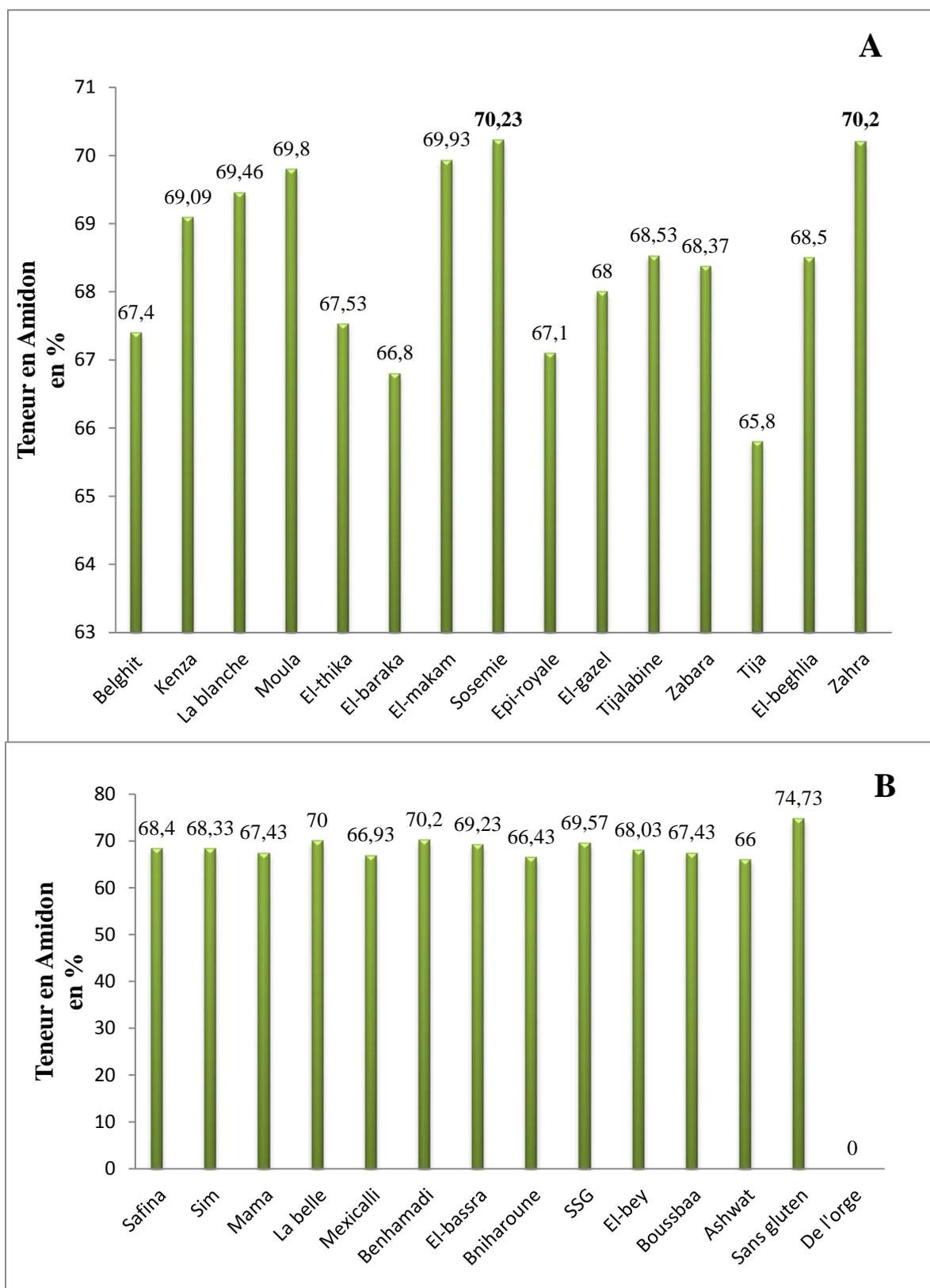


Figure 9 : Teneur en Amidon (Am) en % dans les farines étudiées : A : farines (1-15) ; B : farines (16-29).

1.1.3. Taux d'Humidité (H)

La teneur en eau des farines est un paramètre important qui doit se situer entre 10 et 16% (généralement 13 à 15%) pour que la farine se conserve convenablement (Chene ,2001) Au de là, il y a risque d'altération.

La détermination de l'humidité est importante puisqu'elle conditionne d'une part la précision des divers résultats analytiques rapportés à la matière sèche et d'autre part celle de la mise en œuvre des tests technologiques tel l'essai de la panification (Calvel, 1984). Il ressort que la teneur en eau des différentes farines de blé tendre varie entre 11.06 à 17.60% (figure 10).

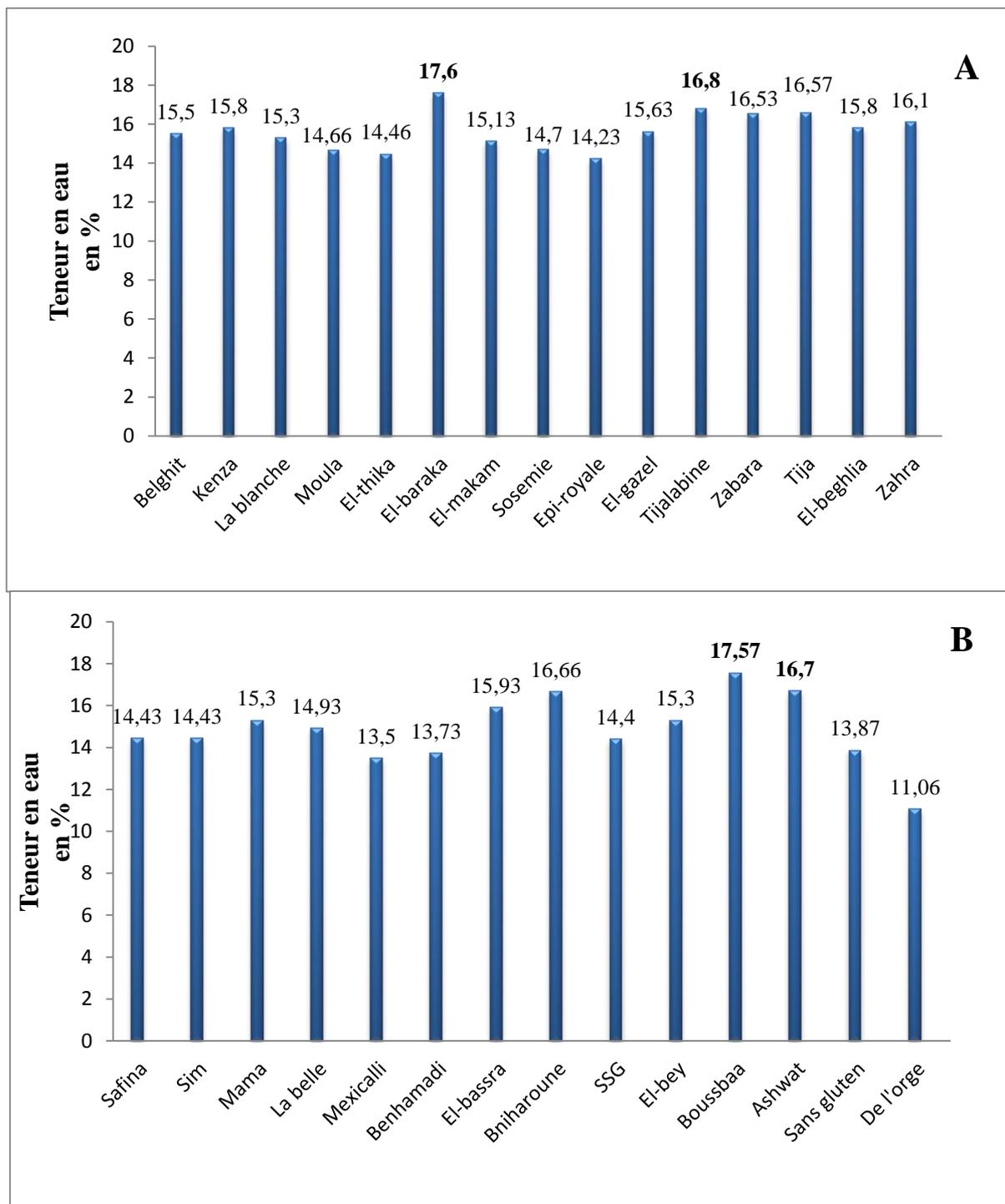


Figure 10 : Teneur en Eau (H) dans les farines étudiées : A : farines (1-15) ; B : farines (16-29).

La teneur la plus élevée est observée chez la farine El-baraka de l'ordre de 17.60%(figure 10). Alors que la farine de l'orge enregistre la teneur la plus faible de l'ordre de 11.06%. Les résultats des autres farines affirment ceux rapportés par (Calvel,1984) (Grandvoinet et Praty

,1994), qui fixent des intervalles entre 14 et 16% pour les farines boulangères. L'humidité de notre farine de blé tendre qui varie entre 11.06% et 17.60% permet donc une bonne conservation de ces farines. La faible teneur en eau peut être expliquée soit par l'évaporation excessive de l'eau lors de la mouture soit une insuffisante durée de repos ou un mouillage non homogène.

1.2. Analyse des caractéristiques technologiques

Les caractéristiques technologiques sont effectuées par la teneur en gluten humide (GH), sec (GS) exprimées en % de matière fraîche et les tests technologiques de Pelshenke (Pel) exprimés en min et de sédimentation (SDS) en ml. Les résultats sont représentés dans des histogrammes suivants

1.2.1. Test de Pelshenke (Pel)

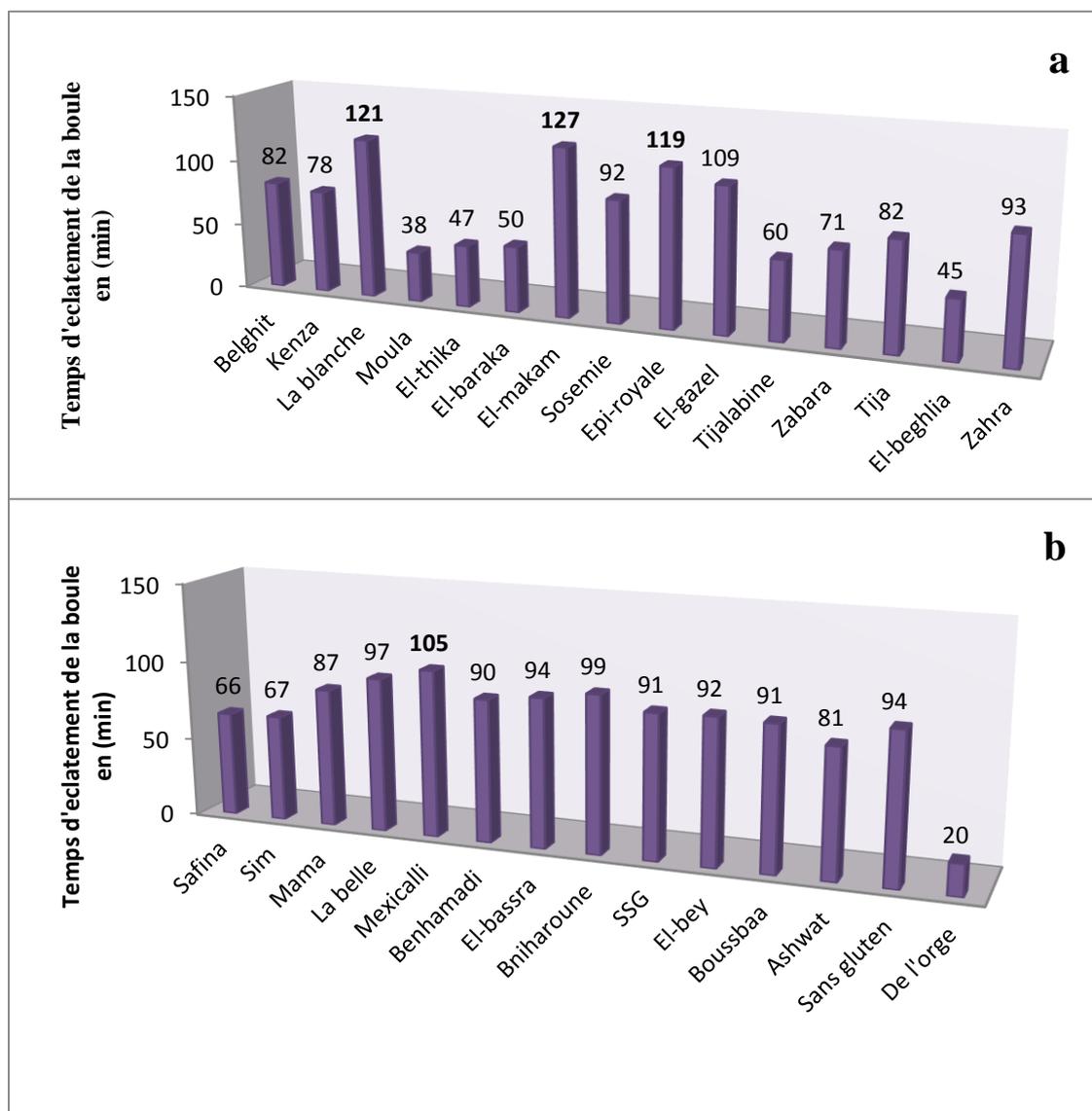


Figure11 : temps d'éclatement en min des farines étudiées. a : farines (1-15) ; b : farines (16-29).

Les valeurs de test Pelshenke révèlent que les farines étudiées sont des blés de bonne et de très bonne qualité. Les valeurs moyennes varient de 20 à 127 min. Les farines la blanche, el-makam, l'épie royale et el-ghazel enregistrent les valeurs les plus élevées (figure 11). Les autres farines ont des valeurs qui sont dans les normes tandis que la farine Moula et farine de l'orge sont les seules qui soient de qualité technologique médiocre.

1.2.2. Test de Sédimentation SDS

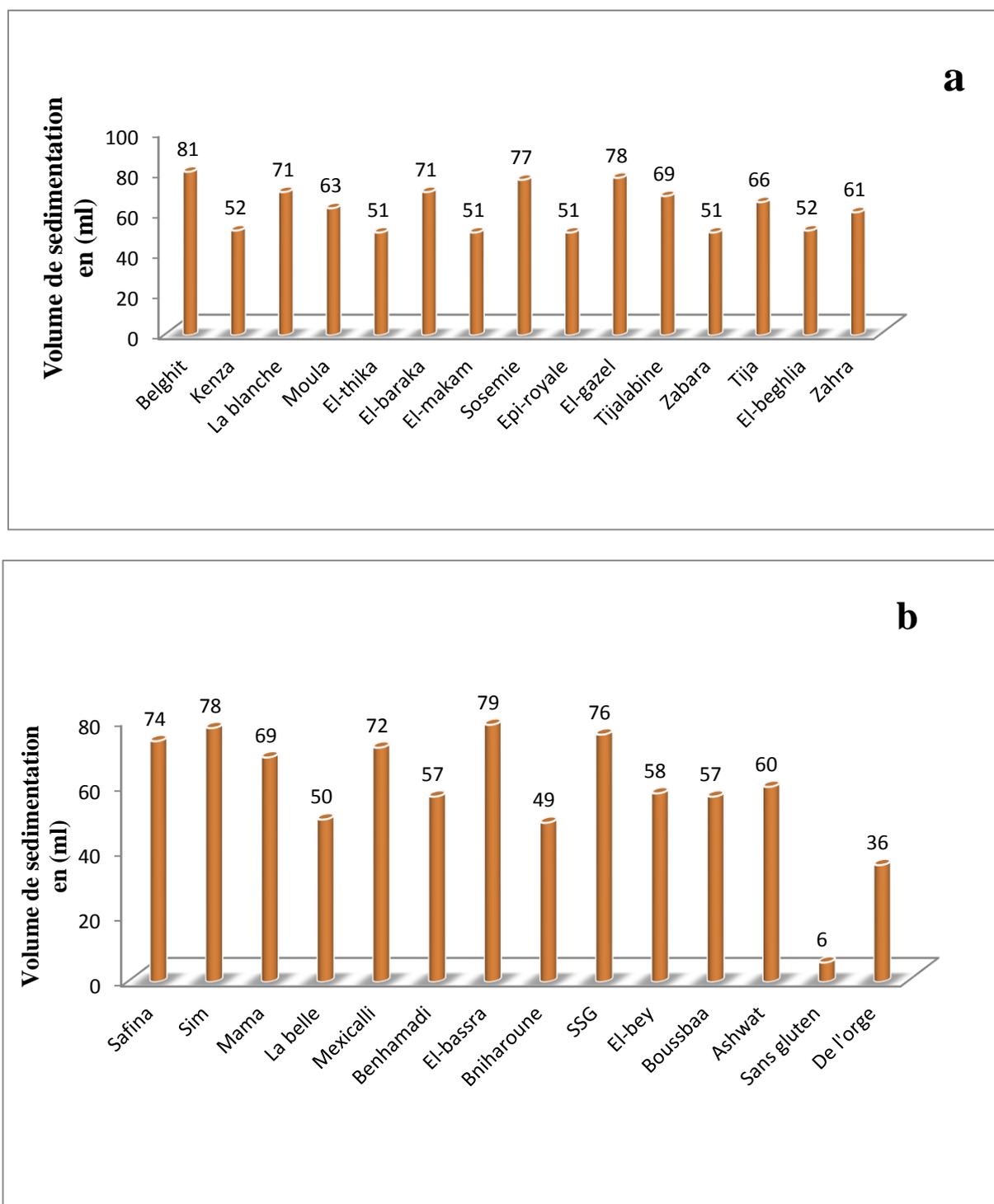


Figure 12: volume de sédimentation en ml des farines étudiées. a : farines (1-15) ; b : farines (16-29).

Ce test est aussi un bon indicateur de la qualité des protéines, son utilisation est très remarquable pour le blé tendre, parfois ce paramètre est exigé lors des transactions commerciales. De nombreux auteurs ont associé le SDS à la force des blés tendre.

Les valeurs de SDS oscillent entre 36 et 81ml (figure 12), et sont en accord avec (Lafiandra *et al*, 1993) et (Branlard *et al*, 1994) qui montrent que les blés tendres ont des valeurs SDS plus fortes que celle de blé dur. Nos farines se situent dans la gamme des farines de moyenne et de bonne force boulangère telle établie par (Payne *et al*, 1984) en indiquant que les farines dont le volume de sédimentation est inférieur à 60 ml sont de qualité médiocre.

1.2.3. Test du gluten humide et sec

Une très grande partie des propriétés technologiques de la pâte peut être associée au gluten formé principalement des gluténines et gliadines, plusieurs auteurs ont souligné que la composition du gluten est un facteur déterminant la force d'une farine. La quantité et la qualité de ce dernier sont responsables des propriétés viscoélastiques de la pâte (extensibilité et élasticité).

Nos résultats montrent que les teneurs gluten humide vont de 2.68 à 11.48 (figure 13) (Ugrinovits *et al*, 2004), ont décrit la force des farines selon leur gluten humide. Les farines usuelles ont des teneurs de l'ordre de 27% à 37%. Les farines provenant de blé très fort peuvent présenter des teneurs allant jusqu'à 45% alors que des % inférieurs à 25% signalent une farine faible (farine pour biscuit par exemple).

Les histogrammes montrent que les meilleures teneurs sont observées chez les farines : pour la farine Kenza 12.90%, farine El-thika 11.48% et la farine Moula 10.17%, alors que la farine Mama représente la teneur en gluten humide la plus faible avec un pourcentage de 2.68%. Quant au gluten sec, les valeurs sont comprises entre 1.60% à 11.68% de matière sèche.

Les valeurs obtenues sont inférieures à l'intervalle de 33-34% indiqué par Godon (1991) et les valeurs du Gluten sec sont également inférieures à 12,5% trouvé par (Ounane *et al.*, 2006). Donc nos résultats se trouvent au dessous de la limite minimale. Cette baisse semble être due à la durée de stockage de la farine.

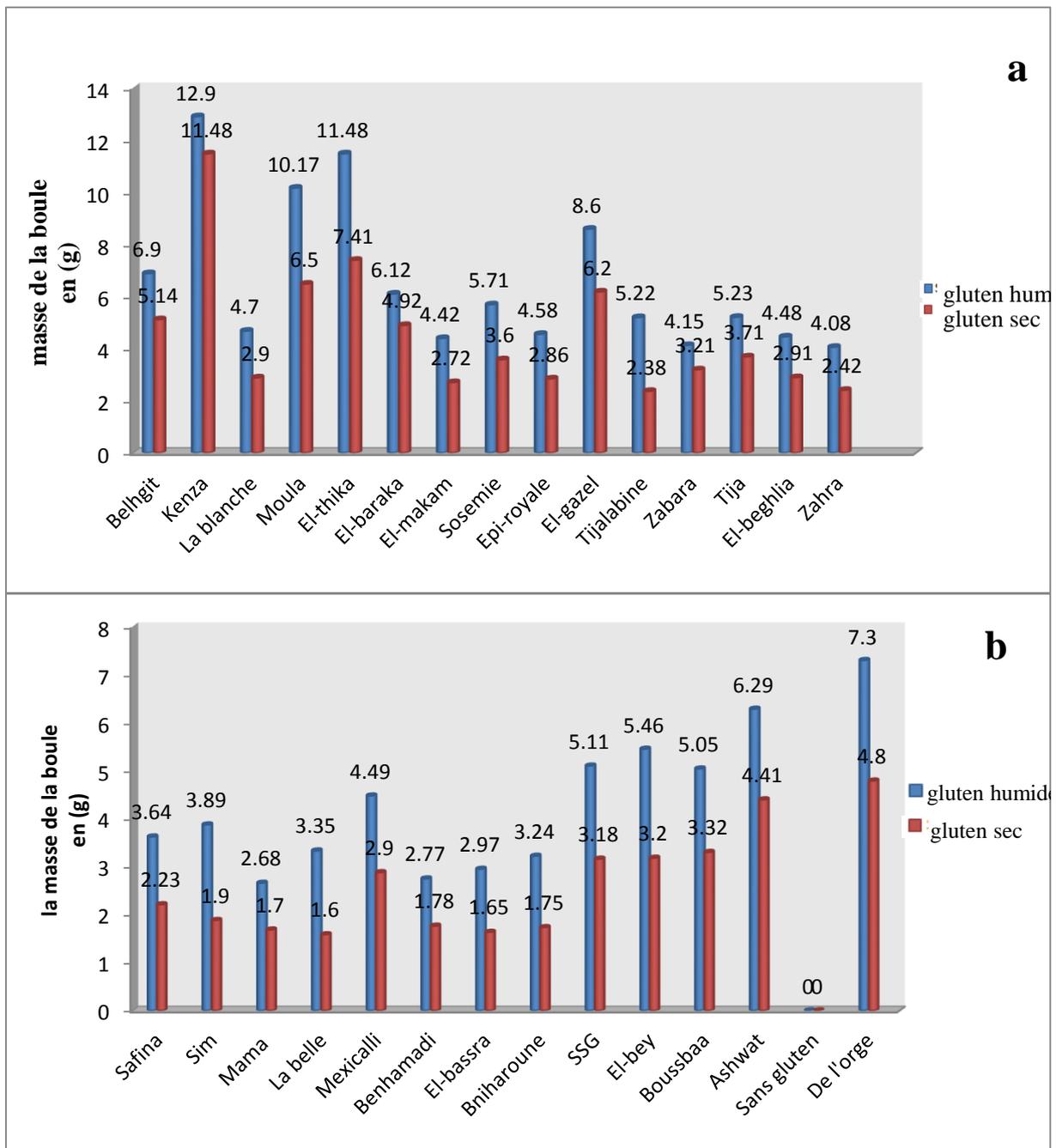


Figure13 : la masse de la boule en g du gluten des farines étudiées. a : farines (1-15) ; b : farines (16-29).

1.2.4. Capacité d'Hydratation

La capacité d'hydratation est en relation directe avec la qualité de la farine. Elle correspond à la quantité d'eau à ajouter. Selon (Lulton, 1982), il est à noter qu'un gluten de bonne qualité doit absorber une quantité d'eau suffisante de 68% en moyenne.

Cette capacité doit être normalement comprise entre 62 et 65% et peut s'élever à 69% (Lecoq, 1965).

D'après nos résultats (figure 14), la capacité d'hydratation des farines étudiées varie de 11.01% à 54.41%. Ces deux valeurs sont enregistrées pour les farines Kenza et Tijalabine, respectivement. En comparaison avec les valeurs de références, les farines commercialisées au territoire national présentent une capacité d'hydratation faible ce qui donne une idée directe sur la qualité du gluten composant ces farines.

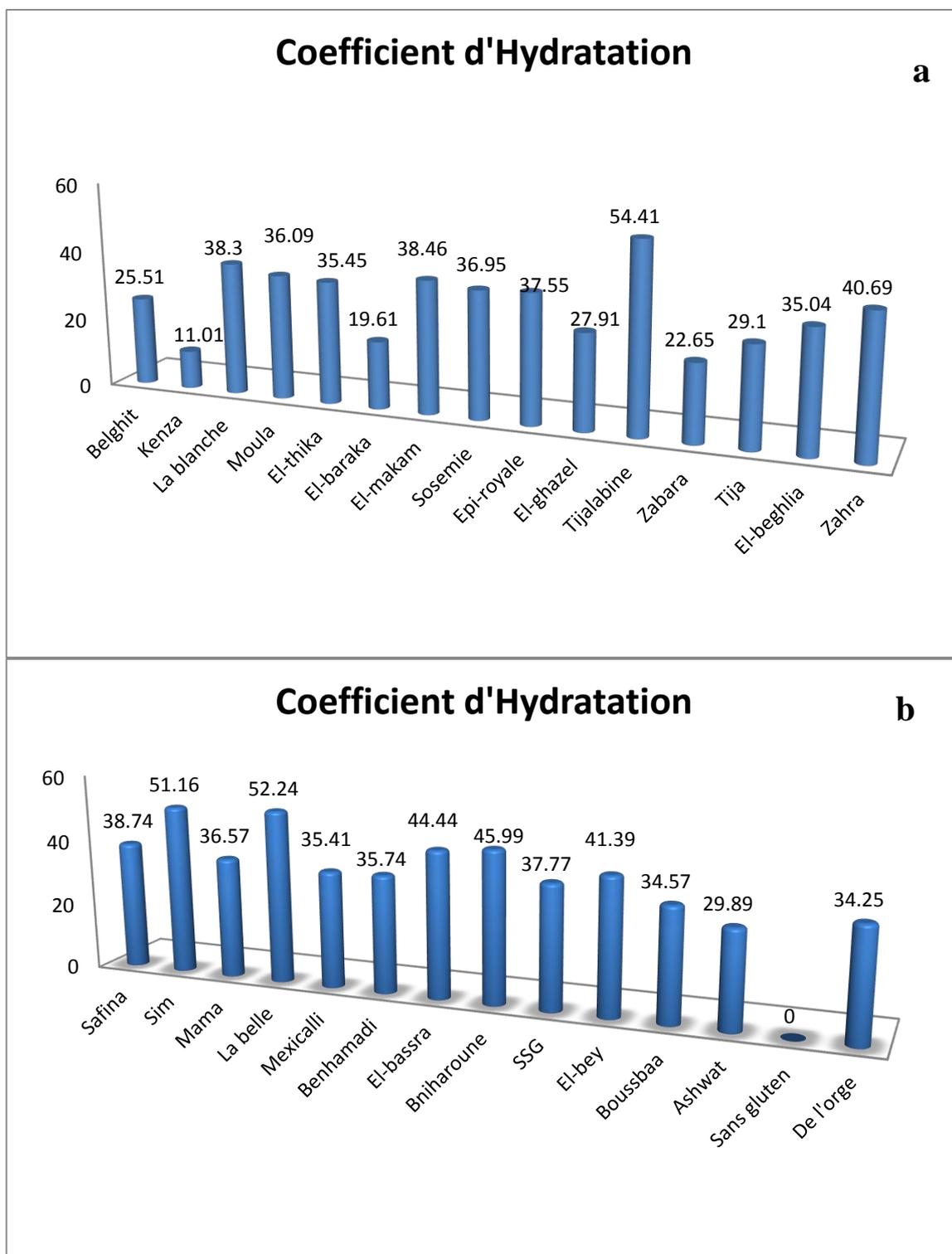


Figure 14 : Coefficient d'hydratation des farines étudiées. a : farines (1-15) ; b : farines (16-29).

2. Technique d'électrophorèse

Dans l'ensemble des techniques de fractionnement (chromatographie, électrophorèse, électrofocalisation, ultracentrifugation...), c'est certainement l'électrophorèse, en raison de ses possibilités de révéler les protéines à faible coût sur les grandes séries et avec une faible quantité d'échantillons, qui semble aujourd'hui la mieux adaptée aux problèmes du sélectionneur en matière de qualité des blés. Le principe de la technique électrophorétique est simple. Les molécules protéiques possèdent conjointement des acides aminés acides et basiques qui leur confèrent des charges électriques différentes selon le pH du milieu environnant. Les protéines (qui proviennent directement de l'information génétique), une fois solubilisées, vont, sous l'influence d'un champ électrique, se comporter comme des particules chargées et se déplacer vers l'anode ou la cathode selon leur charge propre sur un support ; plus généralement d'acrylamide.

L'utilisation de la technique d'électrophorèse est nécessaire pour l'identification variétale. Le rôle important du facteur variétal dans la qualité des blés et la présence de blés indésirables dans un lot commercial ont amené la meunerie à acheter ses blés selon le critère variétal et cette notion a, précisément, pu être retenue grâce à la possibilité d'identifier les variétés par électrophorèse. La catégorie de protéines dont les électrophorégrammes présentent chez les céréales le polymorphisme intervariétal le plus élevé reste, à l'heure actuelle, celui des prolamines (gliadines et gluténines chez le blé). Dans la plupart des cas, on obtient des diagrammes spécifiques, véritables « empreintes digitales » de la farine (figure 15).

L'étude biochimique par une électrophorèse monodimensionnelle en présence de SDS (SDS-PAGE), nous a permis de séparer l'ensemble des sous unités gluténines et d'obtenir des profils électrophorétiques très clairs. Chaque profil est composé de trois groupes de bandes. On se basant sur la mobilité et la preuve génétique, le groupe de bandes à mobilité lente correspond aux sous unités gluténines de haut poids moléculaire tandis que les bandes intermédiaires et rapides correspondent aux sous unités gluténines de faible poids moléculaire.

Notre étude a porté uniquement sur les gluténines qui sont d'une importance majeure dans la détermination des caractères technologiques de la qualité des blés.

Les blés tendres sont des espèces hexaploïdes ayant le génome AABBDD. Pour la lecture de nos gels, nous avons recensé les bandes présentes selon leur mobilité et nous avons attribué un numéro à chaque bande dans chacune des zones.

Les électrophorégrammes obtenus montrent que la majorité des farines sont des mélanges de variétés de blé tendre, sauf pour la farine de l'orge et la farine sans gluten et partagent presque le même profil protéique dans les deux zones de gluténines de haut et de faible poids moléculaire (figures 15).

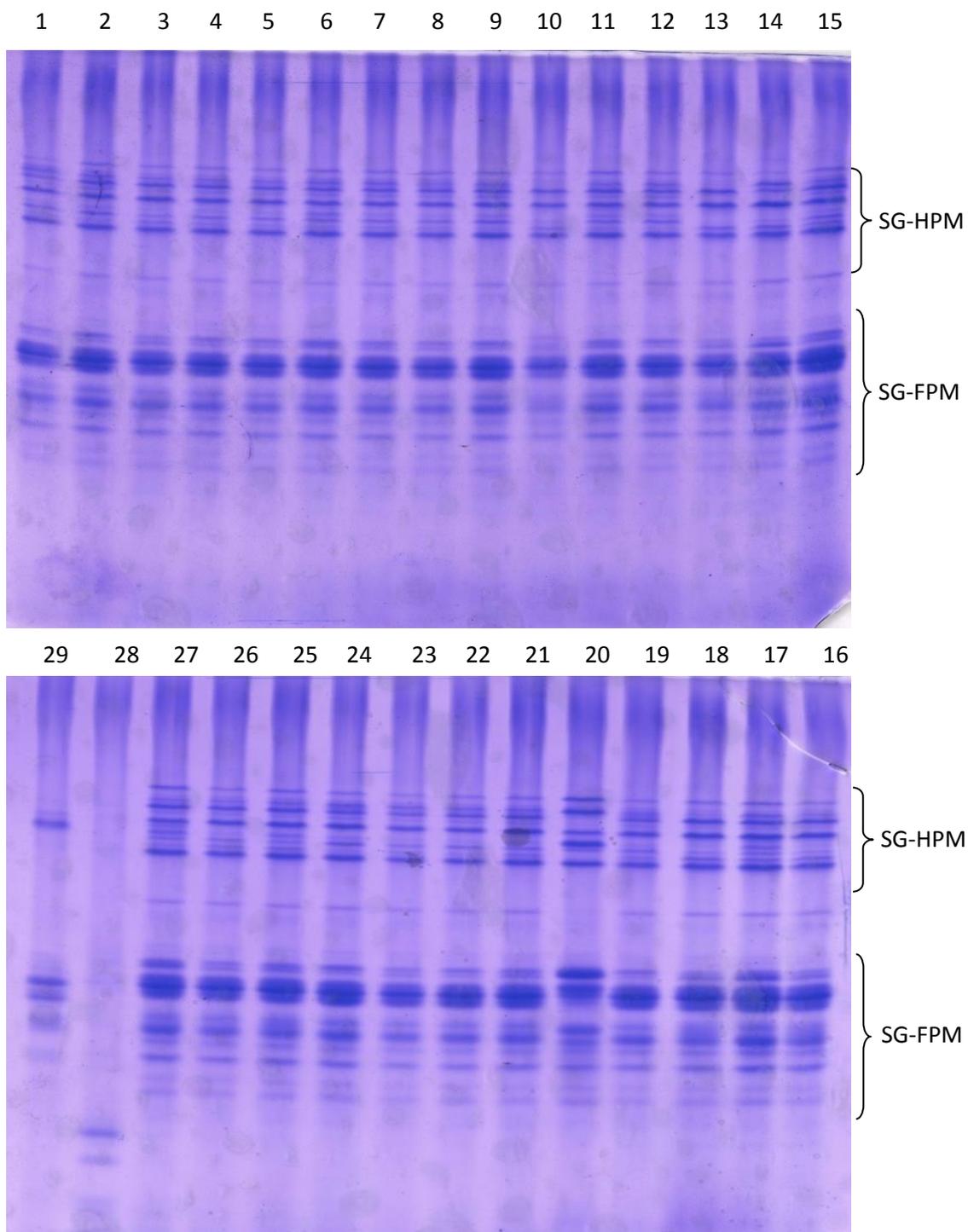


Figure 15 : Electrophorèse monodimensionnelle des gluténines par SDS-PAGE. 1) Belghit ; 2) Kenza ; 3) La blanche ; 4) Moula ; 5) El thika ; 6) El baraka ; 7) El makam ; 8) Sosemie ; 9) L'épi royal ; 10) El gazale ; 11) Tijalabine ; 12) Zabara ; 13) Tija ; 14) El baghlia ; 15) Zahra ; 16) Safina ; 17) Sim ; 18) Mama ; 19) La belle ; 20) Mexicalli ; 21) Benhamadi ; 22) El bassra ; 23) Bniharoune ; 24) SSG ; 25) El bey ; 26) Boussbaa ; 27) Ashwat ; 28) Sans gluten ; 29) De l'orge

2.1. Diagrammes types obtenus pour les gluténines HPM

L'analyse des diagrammes électrophorétiques des gluténines de 29 farines de blé tendre nous a permis de recenser un ensemble de 6 bandes de haut poids moléculaire de différentes mobilités relatives. Chaque diagramme renferme selon les farines (variétés de blé tendre) de 4 à 6 bandes pour les SG-HPM; à l'exception de la farine sans gluten et la farine de l'orge. Au tableau 6, sont portés les différents types de diagrammes obtenus pour les gluténines de haut poids moléculaire, respectivement.

Tableau 6 : Types de diagrammes des sous-unités gluténines de haut poids moléculaire observé chez la collection des farines de blé tendre étudiées.

Types	Diagrammes	Farines
I	1-2-3-4-5-6	Belghit, Moula, El thika, El makam, L'épi royal, Tijalabine, Zabara, Zahra, Sim, El bay, Benhamadi, Boussbaa.
II	1-3-4-5-6	La blanche, El baraka, La belle, Mexicali, Bassra, Bniharoune, SSG, Ashwat.
III	1-2-3-4-6	Kenza, Sosemie.
IV	1-2-4-5-6	Safina, Mama.
V	1-3-4-6	El gazale. Tija.
VI	1-2-3-4-5	El baghlia

L'analyse de ce tableau révèle l'existence de 6 types de diagrammes pour une collection de 27 farines de blé tendre (variétés de blé tendre). Le nombre plus au moins élevé des groupes et des bandes reflète le grand polymorphisme des protéines de réserve de cette collection. Nous pouvons dire que la diversité des SG-HPM est importante et que quelques sous unités ont été introduites pouvant améliorer ainsi la qualité technologique des farines commercialisées. Un diagramme est le plus fréquent (1-2-3-4-5-6), avec une fréquence de 44.44%, un ensemble de douze farines partage ce diagramme. Vient après le diagramme (1-3-4-5-6) dont la fréquence est de 29.63%. Concernant les diagrammes (1-2-3-4-6), (1-2-4-5-6), (1-3-4-6), il renferme chacun deux variétés de farine. Le diagramme (1-2-3-4-5-) caractérise une seule variété de farine qui est El baghlia.

2.2. Diagrammes types obtenus pour les sous unités gluténines FPM

L'analyse électrophorétique des 29 farines de blé tendre a permis de distinguer 6 types de diagrammes des SG-FPM, la diversité des bandes électrophorétiques est importante chaque diagramme renferme selon la variété de farine de 2 à 6 bandes. Ainsi le nombre plus au moins élevé des groupes et des bandes reflète le grand polymorphisme des protéines de réserve de notre collection. On peut aussi dire que la composition qui en résulte, influence les propriétés rhéologiques de la pâte, et que les sélectionneurs ont réussi d'introduire quelques sous unités pouvant améliorer ainsi la qualité technologiques des blés tendres. Le tableau 7 présente les six types de diagrammes rencontrés chez la collection de 27 farines de blé tendre à l'exception de la farine sans gluten et la farine de l'orge.

Tableau 7 : Types de diagrammes des sous unités de faible poids moléculaire observés chez la Collection des farines de blés tendres étudiées.

Types	Diagrammes	Farines
I	1-2-3-4-5-6	Kenza, L'épi royal, Tijalabine, Zabara, El baghlia, Sim, La belle, Benhamadi, El Bassra, Bniharoune, SSG, El bay, Boussbaa.
II	1-3-4-5-6	Belghit, El thika, La blanche, El baraka, El makam, Sosemie, Moula.
III	1-2-3-5-6	Zahra, Safina, Mama, Ashwat.
IV	1-3-4-5-6	Mexicali.
V	1-3-5-6	Tija.
VI	1-5	El gazale.

Le diagramme le plus fréquent est le (1-2-3-4-5-6) avec une fréquence de 48.15%, un ensemble de douze accessions partagent ce même diagramme. Vient après le diagramme (1-3-4-5-6) dont la fréquence est de 25.93%. Concernant les diagrammes (1-2-3-5-6), on le trouve chez quatre farines avec une fréquence de 14.81%. Les diagrammes (1-3-4-5-6), (1-3-5-6) et (1-5) ont la plus faible fréquence 3.70%, chacun de ces diagrammes est présenté par une seule farine.

Le caractère qualité est actuellement très recherché et est devenu l'un des objectifs principaux dans l'amélioration des blés. La fabrication de la farine nécessite des analyses physico-chimiques et technologiques spécifique pour contrôler la qualité de blé tendre à utiliser.



Conclusion

Le caractère qualité est actuellement très recherché et est devenu l'un des objectifs principaux dans l'amélioration des blés. La fabrication de la farine nécessite des analyses physico-chimiques et technologiques spécifique pour contrôler la qualité de blé tendre à utiliser.

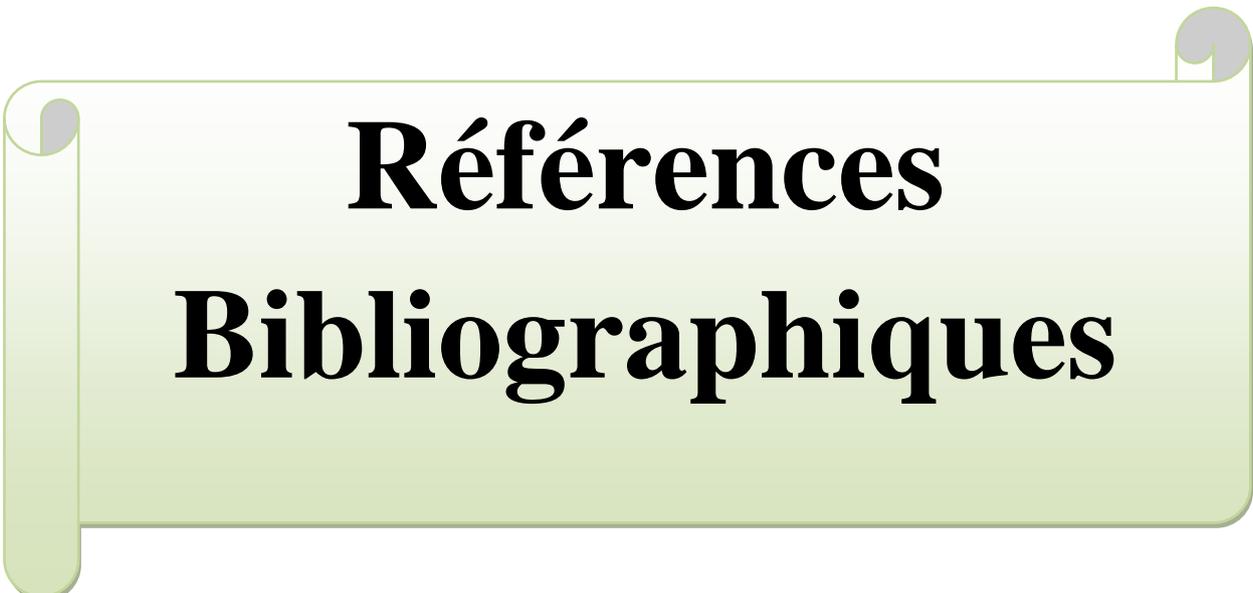
Les résultats qui peuvent être tirés à partir les différentes analyses effectuées telles que : l'humidité, le taux de Protéine, le taux d'Amidon, le taux du gluten, test de Sédimentation SDS et le test de Pelshenke sont regroupés dans les points suivants :

- Le taux de protéines pour les farines de blé tendre étudiées varie de 9.31% à 12.21%, donc les résultats enregistrés sont conformes aux normes établies par (Atwell, 2001).
- Les résultats concernant le taux d'Amidon montrent que la majorité des farines présentent des teneurs très importantes qui varient entre 66% et 74.73%, ils sont donc conformes aux normes établies par Atwell (2001) dont la teneur en amidon varie entre 63 et 72% de matière sèche.
- Le taux d'Humidité varie de 11.06% à 17.60%, il est donc conforme aux normes rapportées par (Calvel, 1984) et(Grandvoinet et Praty, 1994), qui fixent des intervalles entre 14 et 16% pour les farines boulangères.
- La qualité du gluten obtenue pour un échantillon de 10g varie entre 1.60% à 11.68% de matière sèche pour le gluten sec et de 2.68% à 11.48% pour le gluten humide. Les valeurs du gluten humides sont inférieures à l'intervalle de 33-34% indiqué par (Godon, 1991) et les valeurs du Gluten sec sont également inférieures à 12,5% trouvé par (Ounane *et al.*, 2006). Donc nos résultats se trouvent au dessous de la limite minimale. Cette baisse semble être due à la durée de stockage de la farine.
- En ce qui concerne la qualité rhéologique des farines étudiées, les analyses qui ont été faites par le test de sédimentation SDS et le test de Pelshenke montrent qu'elles sont de bonne qualité et qu'elles sont stables.
- L'analyse des sous unités gluténines de haut et de faible poids moléculaire, par la technique SDS-PAGE au niveau de la collection des farines de blé tendre utilisées ; nous montre qu'il existe un polymorphisme au niveau des deux zones de gluténines HPM et FPM qui est traduit par les diagrammes types obtenus (six pour chaque groupe de gluténines).

- L'analyse électrophorétique des diagrammes obtenus montre que chacune des farines présente un profil protéique qui lui est propre et qui peut ressembler ou pas à celui d'une autre farine. Ainsi les farines étudiées qui présentent le même diagramme type en tenant compte des gluténines de haut et de faible poids moléculaire sont issues de la ou les mêmes variétés de blé tendre mais qui portent des noms commerciaux différents.

Face à la diversité des besoins et des procédés de fabrication à base de farine de blé, les technologues et généticiens ont compris l'importance de mieux connaître les caractéristiques physico-chimiques, biochimiques et l'hérédité des propriétés fondamentales de la pâte. Cela nous conduit à dire que l'amélioration de la qualité des farines par le biais des caractères présents dans les blés tendres mérite l'utilisation de collections de variétés plus performantes (présence des gènes d'intérêt pour la qualité).

Et donc en perspective, la poursuite des travaux nécessite la lecture génétique des sous unités gluténines de haut et de faible poids moléculaire des variétés de blé tendre utilisées pour la fabrication de ces farines par l'utilisation de nomenclatures alléliques internationales des protéines de réserve afin d'apprécier la diversité génétique d'une part et la corrélérer avec les caractères de qualité d'autre part.



**Références
Bibliographiques**

- Abeledo L. G., Savin R., Gustavo A. et Slafer. (2008).** Wheat productivity in the Mediterranean Ebro Valley: Analyzing the gap between attainable and potential yield with a simulation model. *European journal of Agronomy*. 28. 541-550p.
- Anjum F.M., Khan R.M., Din A., Saeed M., Pasha I and Arshad M.U., (2007).**Wheat gluten: High molecular weight glutenin subunits-structure, genetics and relation to dough elasticity. *Journal of Food Science*. Vol 72. Nr 3.
- Anonyme A. (2002).** Recherche agronomique revue semestriels, N° 10.
- Atwell W.A. (2001).** Wheat flour. Eagan press, Minnesota, USA, 123p.
- Bajji M. (1999).** Étude des mécanismes de résistance au stress hydrique chez le blé dur : caractérisation de cultivars différant par leurs niveaux de résistance à la sécheresse et de variants somaclonaux sélectionnés In vitro. Thèse de doctorat. Univ. Louvain.
- Bajji M., Lutts S. et Kinet J. M. (2001).** Water deficit effects on solute contribution to osmotic adjustment as a function of leaf ageing in three durum wheat (*Triticum durum* Desf.) cultivars performing differently in arid conditions. *Plant Science*. 160 : 669 -681p.
- Beccari, I. B. (1745).** De Bobniensi Scientarum et Artium Atque academis.2 :122-127.
- Belagrouz A. (2013).** Analyse du Comportement du Blé Tendre, Variété El WIFAK (*Triticum aestivum* L.) Conduite en Labour Conventionnel, Travail Minimum et Semis Direct Sur Les Hautes Plaines Sétifiennes.
- Belaid D. (1996).** Aspects de la céréaliculture Algérienne. Ed. Office des publications universitaires, Ben Aknoun .Alger, 206 p.
- Belton P.S., Duce S.L., Tatham A. S. (1987).** Nuclear magnetic resonance studies of Wheat gluten. In: Cereals in European context. First European conference on Food Science and Technology. Eds, Morton I D. Ellis.Hordwood, Chichester, UK, pp 488-495.
- Benbelkacem F., Saldi A., Brinis. (1995).** *La recherche pour la qualité des blés en Algérie ., Séminaire de blé dans la région méditerranéenne* , N° 22.
- Bietz J.A., Wall J.S. (1972).** Wheat gluten subunits: molecular weights determined by Sodium sulfate-polyacrylamide gel electrophoresis. *Cereal Chem*. 49: 416-30
- Bonjean A. (2001).** Histoire de la culture des céréales et en particulier celle de blé tendre (*Triticum aestivum* L.).Dossier de l'environnement de l'INRA, N°21 :29-37.
- Bornet F. (1992).** Le pain et produit céréaliers, alimentaire et nutrition humaines Edition, ESF. Paris, P.1533.
- Bornet F., Cloarec D., Guilloud S., Champ M., Colonna P., Barry J.L. et Galmiche J.P. (1991).** Amidon indigestibles: digestibilité in vitro et aspects nutritionnels chez l'homme sain. *Gastroentérol. Clin. Biol.*, (14), pp. 90-103.

- Boulal H., Zaghouane O., EL Mourid M. et Rezgui S. (2007).** Guide pratique de la conduite des céréales d'automne (blés et orge) dans le Maghreb (Algérie, Maroc, Tunisie). Ed. ITGC, INRA, ICARDA, Algérie, 176 p.
- Branlard G., Chevallet C. (1984).** Sur la diversité des blés tendres cultivés en France », *Agronomie*, 4 (10), 933-938.
- **Calvel R. (1980).** La boulangerie moderne .Edition. Eyrolles.
- Calvel R. (1984).** La boulangerie moderne. eyrolles, 10ème Edition Paris, 460 p.
- **Calvel R. (1984).** *La boulangerie moderne*, Ed Eyrolle. France. P. 459.
- **Cheftel J.C. (1977).** Introduction à la Biochimie et à la Technologie des aliments. Lavoisier, Paris, P. 105-142.
- **Chehat. (2007).** La filière blés en Algérie. Projet PAMLIN : Perspectives agricoles et agroalimentaires Maghrébines Libéralisation et Mondialisation.
- Chellali B. (2007).** Marché mondial des céréales: L'Algérie assure sa sécurité alimentaire.
- Chene A. (2001).** La farine. Journal de l'ADRIANOR, 26, 3-8.
- **Cheriet G. (2000).** Étude de la galette différent types recettes et mode de préparation, P. 99.
- Colas A. (1998).** Définition de la qualité des farines pour les différentes utilisations. *In : Les industries de première transformation des céréales Tech et Doc*, Lavoisier, Paris, 590p.
- Dacosta Y. (1986).** Le gluten de blé dur et ses applications. APRIA, Paris, 130p.
- **Dali Yousef N. et Goumal K. (1991).** Contribution à [étude des caractéristiques Chimiques et technologiques des farines de quatre variétés de blé tendres, *Triticum aestivum*. Thèse, ingéniorat université de Tlemcen.
- Debiton C, (2010).** Identification des critères du grain de blé (*Triticum aestivum L.*) favorables à la production de bioéthanol par l'étude d'un ensemble de cultivars et par l'analyse protéomique de lignées isogéniques waxy . Thèse de doctorat. Université Blaise Pascal, Clermont-Ferrand. France.
- Diponzo N., Kaan F., Nachit M. (1993).** Ed, CIHEM, Espagne, P. 271.
- **Djermoun, (2009).** La production céréalière en Algérie : les principales caractéristiques.
- **Doumandji A., Doumandji S., Doumandji M.B. (2003).** Technologie de transformation des blés et problème dus aux insectes en stock , Ed :Office des publication universitaire, P.129.
- Doussinault G., Kaan F., Lecomte C. et Monneveux P. (1992).** Les céréales à paille : présentation générale. *In : Gallais A. et Bannerot H. (Eds.), Amélioration des espèces végétales cultivées.* Ed. INRA, Paris, pp. 13-21.

- Dubreil L., Compoint J.P., Marion D. (1997).** Interaction of puroindolines with wheat flour polar lipids determines their foaming properties. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 45, 108-116.
- **Emillie. (2007).** Connaissance des aliments Base alimentaire et nutritionnelles de la diététique. ED : Tec et Doc, Lavoisier, paris.
- **Faostat.(2007).** Statistical database of the food and agriculture organization of the United Nations.<http://www.fao.org>. (Consulté le 11/01/2010).
- **Feillet P. (2000).** Le Grain de blé: composition et utilisation, Editions Quae, P.124-128.
- **Feillet P. (2000).** Le grain de blé, composition et utilisation. *INRA*, Paris, 308p.
- **Godon, (1982).** Biotransformation des produits céréaliers, Tec et Doc-Lavoisier, paris.
- Godon B. (1982).** Valeur meunière et boulangère des blés tendres et de leurs farines conservation et stockage des grains et produit dérivé céréales, oléagineuse protéagineux aliments pour animaux, p. 1009 –1028.
- Godon B. (1991).** Composition biochimique des céréales, pp: 77-94. In: les industries de première transformation des céréales. Godon B. et Will M.C. Lavoisier Tec et Doc. Apria. Paris, 221p.
- **Grandvoinet P., Pratz B. (1994).** Les ingrédients des pâtes, Farines mixtes, P. 100-131.
- Grandvoinet et Pratz .(1994).** Farines et mixtes .in : la panification française. Edit. Lavoisier-Apria, Tec et Doc, Paris, 534 p.
- Henry Y. et De Buyser J. (2001).** L'origine des blés. In : Belin.Pour la science (Ed.). De la graine à la plante. Ed. Belin, Paris, pp. 69-72.
- Igrejas G., Gaborit T., Oury F.X., Chiron H., Marion D., Branlard G. (2001).** Genetic and environmental effects on puroindoline-a and puroindoline-b content and their relationship to technological properties in French bread wheats.*Journal of Cereal Science* 34, 37-47.
- Laemmli, U.K. (1970).** Cleavage of structural proteins during the assembly of the head of bacteriophage T4." *Nature*.**227** (259): 99-680.
- **Lahbabi A., Abdel Ilah JIB M., Yahya moussa M.(2004).** Guide pratique de la fortification de la farine.
- Lecoq R. (1965).** Manuel d'analyses alimentaires et d'expertises usuelles. tome 1. Edit DOIN. DEREN et CIE, Paris, 938 p.
- Lery F. (1982).**L'agriculture au Maghreb ou pour une agronomie méditerranéenne. Ed. Maisonneuve et Larose, Paris, 338 p.
- Osborne T.B. (1924).** The vegetables proteins 2nd edition. Longmans, Green & Co edition London, England, pp 154.

- Ounane G., Cuq B., Abecassis J., Yesli A. & Ounane S.M. (2006).** Effects of physiological characteristics and lipid distribution in algerian durum wheat semolinas on the technological quality of couscous. *Cereal Chemistry*, **83**: 377-384.
- Paul C. (2007).** Céréales et alimentation : une approche globale Agriculture Environnement Alimentation et Céréales-INRA 07, pp 1-4.
- Selselet-Attou G. (1991).** Technologie des céréales et produits dérivés, document à l'usage des étudiants, Option T.A.A., 150 p.
- Serviue, (1984).** Valeur alimentaire et al, Manuel d'alimentaire humaines. Les aliments tome 2. Edition : technique et documentation, la voisin, paris, P. 516.
- Slama A., Ben Salem M., Ben Naceur M. et Zid E. D. 2005.** Les céréales en Tunisie : production, effet de la sécheresse et mécanismes de résistance. *Sécheresse*(16) 3 :225-9.
- Surget A., Baron C. (2005).** Histologie du grain de blé. Industrie des céréales.
- Talamalil, (2000).** La libération du marché des céréales en Algérie office algérien interprofessionnel des céréales OAIC Acte du premier symposium internationale sur la Filière blé , Alger , Algérie , P.11- 18.
- Ugrinovits M.S., Arrigoni E., Dossenbach A., Haberli G., Hanich H., J. Schwerzenbach J., Richemont L., Rychener M., Thormann H., Stalder U.(2004).** Céréales, Produits de L'industrie Meunière, Prémélanges pour four, Mélanges de Farines Instantanées. Manuel suisse des denrées alimentaires. Chapitre, 14 : 19.
- Vensel, W.H., Tanaka, C.K., Cain, N., Wong, J.H., Buchanan, B.B., Hurkman, W.J.,(2005).** Developmental changes in the metabolic protein profiles of wheat endosperm. *Proteomics* 5, 1594-1611.
- Zadoks J., Chang T., Konzak C. (1974).** A decimal code for the growth stages of cereals. *Weed research*, 14(6):415–421



Annexes

Annexe 1

Solutions utilisées dans l'extraction des gluténines

Solution A : (conservation à faire le jour même)

✓ Propanol-1	75 ml
✓ Eau distillée qsp	150 ml

Solution B : (conservation environ 2 semaines, à 4°C°)

✓ Propanol-1	10 ml
✓ Tris HCl 1M pH 8	1.6 ml
✓ Eau distillée qsp	20 ml

Solution B1 : (à préparer ex temporairement)

✓ Solution B	7 ml
✓ DL-Dithiothréitol (1% DTT)	70 ml

Solution B2 : (à préparer ex temporairement)

✓ Solution B	7 ml
✓ 4-vinyl-pyridine	98 µl

Solution C : (conservation environ 2 semaines, à 4°C°)

✓ SDS	0.2 g
✓ Glycérol	4 ml
✓ Bleu de bromophénol	2 ml
✓ Tris HCl 1M pH 8	0.8 ml
✓ Eau distillée qsp	10 ml

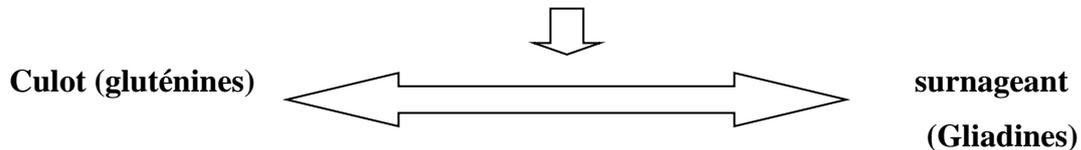
Annexe 2

Extraction des gluténines HPM, FPM et oméga gliadines

D'après Singh, Shepherd et Cornish, 1991. *Journal of cereal science*.14 :
203-208

Ajouter 1/2 grain de farine dans les eppendorfs

- Introduire 1ml de la solution A
- Vortexer
- Etuver 30 minutes à 65°C, en vortexant toutes les 10 minutes
- Centrifuger 1 minute à 10000g



Elimination du surnageant
(Récupération de culot)



- Reprendre le culot avec 1ml de solution A
- Emietter le culot avec un trombone
- Vortexer
- Etuver 30 minutes à 65°C
- Centrifuger 1 minute à 10000g
- Éliminée le surnageant

**Etape de lavage
pour éliminée les
omégas gliadines**

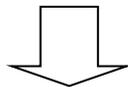


- Reprendre le culot avec 0.5ml de solution A
- Emietter le culot
- Vortexer centrifuger 5 minute à 10000g
- Eliminer le surnageant par aspiration (trompes a eau)



- Introduire 100µl de solution B1

- Vortexer
- Etuver 30minutes a65C°
- Centrifuger 5minute a10000g
- Introduire 100%l de solution B2
- Etuver 15minutes a65C°
- Centrifuger 2minute a10000g
- Prélever 100%l de surnageant
- Additionner 100µl de solution C
- Vortexer
- Etuver 15minutes a65C°
- Centrifuger 2minute a10000g



Révélations des gluténines sur le SDS-PAGE (T=12.5%, C=0.97%)

Annexe 3

Tampon d'électrophorèse :

✓ Glycine	70.55 g
✓ Tris (hydroxyméthyl aminomethan)	15 g
✓ SDS	5 g
✓ Eau distillée	qsp 5000 ml

Solution de coloration (pour deux gels) :

✓ TCA 60%	100 ml
✓ Solution mère de Bleu de Coomassie R250	25 ml
✓ Eau distillée	qsp 500 ml

Solution mère de bleu de Coomassie R250 :

✓ Bleu de Coomassie R250	10 g
✓ Ethanol 95°	qsp 1000 ml

NB. L'éthanol doit être mis en agitation dans l'éprouvette, avec un barreau aimanté.

Le bleu de Coomassie est ensuite ajouté (sinon le bleu prend en masse au fond du contenant).

Laisser en agitation au moins deux heures, puis filtrer la solution.

ANNEXE 4

Solutions pour la préparation des gels (2 gel)

Solution mère d'acrylamide à 40% (à préparer avec gants et masque) :

✓ Acrylamide	12.4 g
✓ Eau distillée	8.60 ml

Solution mère de Bisacrylamide à 2% (à préparer avec gants et masque) :

✓ Bisacrylamide	2.4 g
✓ Eau distillée	8.60 ml

Solution stock de SDS à 10% :

✓ Sodium Dodécyl Sulfate	0.40g
✓ Eau distillée	8.60 ml

Solution d'APS (Ammonium PerSulfate) à 1% (à préparer extemporainement) :

✓ APS	1.00 g
✓ Eau distillée	10 ml

Tampon Tris HCl pH 8.8 (à préparer sous la hotte, avec gants et masque) :

✓ Tris (hydroxyméthyl aminomethan)	60.57g
✓ Eau distillée	qsp400 ml
✓ Ajuster à pH 8.8 avec du HCl fumant	8 à 10 ml
✓ Eau distillée	qsp500 ml

Tampon Tris HCl pH 6.8 (à préparer sous la hotte, avec gants et masque)

- | | |
|---------------------------------------|-----------|
| ✓ Tris (hydroxyméthyl aminomethan) | 30.285 g |
| ✓ Eau distillée | qsp200 ml |
| ✓ Ajuster à pH 8.8 avec du HCl fumant | 19.5 ml |
| ✓ Eau distillée | qsp250 ml |

Annexe 5

Protocole de Test de Pelshenke

Prise d'essai :

-10g de farine

Préparation des levures :

- Solution mère de levure (*Saccharomyces cerevisiae*)

- Eau distillée

Cette solution est préparée avant l'utilisation et est maintenue sous agitation constante à 32°C

Préparation des béchers :

Les béchers les plus appropriés sont d'une contenance de 150 ml

- Chaque bécher est rempli de 150 ml d'eau distillée à 32°C et est maintenue à 32°C

- Pour éviter l'évaporation, chaque bécher est recouvert de verre

Fabrication de la pâte (à température ambiante) :

- A l'aide d'une spatule, un trou est creusé au centre de la farine et 6ml de la solution de Levure est versée dessus

- La farine est énergiquement mélangée avec une spatule. Chaque particule de farine est Utilisée pour former un pàton.

- La petite boule de pâte est posée sur une plaque de verre et pétrie à la main pendant 1mn 30s. Allonger la pâte avec la paume de la main puis refaire une boule et recommencer.

- Après 1mn 30s, le rouleau de pate est divisé en deux parts égales avec un scalpel

- Les deux parts sont roulées entre les deux paumes des mains pour former deux boules Sphériques.

- Ces boules sont placées dans les béchers préparés à l'avance (avec 150ml d'eau).

L'instant où la première boule est placée dans le bécher constitue le temps T₀. L'instant où la Seconde est placée dans le second bécher est le temps T'₀

Calcul de l'indice Pelshenke :

Le dioxyde de carbone(CO₂) produit par les levures augmente le volume du pâton qui remplit tout le bécher. Après un temps variable, la boule formée éclate et retombe. Cet instant est noté T₀ pour la première boule et T₁ pour la seconde.

L'indice Pelshenke est exprimé en minutes :

$$Pel = (T_1 - T_0 + T'_1 - T'_0) / 2$$

La valeur de Pelshenke peut varier entre 15 mns (mauvaise qualité boulangère) et plus de 240 mns (pâte très consistante).

Annexe 6

Protocole de Test de Sédimentation (SDS)

Produits :

- Sodium Dodécyl Sulfate pur (SDS)
- Acide lactique à 90%

Réactifs :

- 20 mg de SDS dissouts dans 1L d'eau plus 20 ml de solution dérivée
- Acide lactique (1 volume d'acide pour 8 volumes d'eau)

Prise d'essai :

- 6g de farine

Essai de sédimentation

- La prise d'essai est introduite dans un cylindre gradué (Eprouvette à 100ml)
- 50 ml d'eau à 22°C sont rajoutées

Mode opératoire n°1 (AXFORD)

Toutes les opérations sauf les agitations se passent dans un bain-marie à 22°C.

- On place L'horloge à 0
- t=0, on remue le mélange rapidement pendant 15 secondes
- t=2mns, on remue le mélange rapidement pendant 15 secondes
- t=4mns, on remue le mélange rapidement pendant 15 secondes

Puis immédiatement on ajoute 50ml du réactif SDS-Acide lactique à 22°C.

On renverse le cylindre 4 fois pour mélanger et on met l'horloge à 0

- t=2mns, on retourne le cylindre 4 fois
- t=4mns, on retourne le cylindre 4 fois
- t=6mns, on retourne le cylindre 4 fois

-Puis on retire Le cylindre du bain-marie et on le place en position verticale.

On laisse reposer 20 mns et on lit le volume de dépôt.

ملخص

الهدف من هذا العمل هو دراسة الجودة و القيمة التكنولوجية لأصناف من طحين القمح اللين التي تباع في الأسواق الجزائرية. لتحقيق هذا الهدف تم القيام ببعض التحاليل الفيزيوكيميائية و التكنولوجية التي تحدد لنا مختلف الخصائص الدالة على الجودة: نسبة البروتينات ، نسبة الرطوبة ، نسبة النشاء ، حجم الترسيب ، نسبة الغلوتين الرطب و الجاف ، تحليل Pelshenke أثبتت النتائج المتحصل عليها بالنسبة حجم الترسيب و تحليل Pelshenke أن أصناف الطحين المدروسة تميزت بجودة على العموم جيدة لكت بالنسبة لتحليل نسبة الغلوتين الرطب و الجاف أن النتائج المتحصل عليها كانت دون المتوسط.

سمحت لنا تقنية SDS-PAGE من استنتاج أن كل أنواع الطحين المدروسة تتشابه إلى حد كبير من خلال مقارنة الأنماط SGHPM و SGFPM المتحصل عليها هذا يفسر بان كل هذه الأنواع هي عبارة عن طحين واحد لكن مع علامة تجارية مختلفة .

في مجمل القول فان طحين القمح اللين المتوفر في الأسواق الجزائرية على العموم مطابق للمعايير المعتمدة في الجزائر .

الكلمات المفتاحية

طحين القمح اللين ، تحاليل تكنولوجية ، تحاليل فيزيوكيميائية ، الجودة.

Summary

The present work done with the aim to assess the technological quality of wheat flours sold in Algeria. To achieve this object a number of physicochemical and technological tests were conducted.

The results achieved show that the majority of the studied flours have very similar features on the physicochemical (protein content, moisture and starch content) and technological tests (Pelshenke test, SDS sedimentation test and gluten test)

The pelshenke and sedimentation test values reveal that the studied flours are of good and acceptable quality. However the gluten test values were bad.

The SDS-PAGE technique allowed us to estimate a high similarity of SG-HMW And SG-LMW. These results suggest that these flours have the same structure, but with a different trademark.

The analyzes of examined flours are generally conform to the standards adapted in Algeria.

Key words:

Wheat flour, technological tests, physicochemical tests, quality

Résumé

Le présent travail est réalisé dans l'objectif d'apprécier la qualité technologique des farines de blé tendre commercialisées en Algérie

Pour atteindre ce but des analyses physico-chimiques et technologiques ont été effectuées.

Les résultats obtenus montrent que la majorité des farines étudiées présentent des caractéristiques très proches concernant les tests physicochimiques (taux de protéine, taux d'humidité et taux d'amidon) et technologiques (test Pelshenke, sédimentation SDS et test du gluten)

Les valeurs des tests de Pelshenke et de sédimentation SDS révèlent que les farines étudiées sont de qualité bonne et acceptable. Cependant les valeurs de test de gluten étaient médiocres.

La technique SDS-PAGE nous a permis d'estimer une grande similitude des SG-HPM et SG-FPM de certaines farines par rapport à d'autres. Ces résultats permettent de conclure que toutes ces farines possèdent presque une même structure, mais avec une marque commerciale différente.

Les analyses réalisées sur les farines étudiées sont globalement conformes aux normes en Algérie.

Mots clés :

Farine de blé tendre, tests technologiques, tests physicochimiques, qualité.