

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
Université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou



Faculté des Sciences Biologiques et des Sciences Agronomiques
Département des Sciences Agronomiques

Mémoire

En vue de l'obtention du Diplôme de Master 2

Option : Management de la Qualité Totale et Sécurité des Aliments

THEME:

*Etude de l'influence de l'ajout d'un mix
Son et germe sur la qualité technologique de la
farine*

Présenté par :

Mme AKHMOUM Dahbia

Devant le jury composé de :

Promoteur : Mr YESLI A.

Maître assistant

Président: Mr AMIR Y.

Professeur

Examineur 1 : Mr SADOUDI R.

Maître de conférences B.

Examineur 2 : Mme BENTAYEB S.

Maitre assistante

Promotion 2015/2016

Remerciements

Tous travail de recherche n'est jamais totalement l'œuvre d'une personne. À cet effet, nous tenons à exprimer nos sincères reconnaissances et nos vifs remerciements à tous ceux qui ont contribué et qui ont pris une part active à l'élaboration de ce mémoire.

*Nos remerciements vont tout d'abord à notre promoteur **Mr YESLI** Abdenour et notre encadreur **Mme GAZOU** ainsi que tous les membres de l'entreprise **NEOFAR AZAZAGA** pour nous avoir honorés en acceptant de diriger ce travail, pour leurs disponibilités permanentes, leurs conseils judicieux, leurs remarques et orientations, mais aussi pour leurs qualités humaines qu'ils se donnent pour mission de transmettre. Qu'ils trouvent ici le témoignage de notre profond respect.*

*Nous exprimons notre gratitude pour l'ensemble des enseignants de département des Sciences Agronomiques de l'université **MOULOUD MAMMERI** de **TIZI OUZOU**, pour nous avoir fait bénéficier de leurs connaissances tout au long de notre cursus.*

Nous remercions également les membres du jury qui ont eu l'amabilité d'accepter d'évaluer ce modeste travail, de participer à notre soutenance et nous espérons qu'il sera à la hauteur de leurs attentes. Qu'ils trouvent ici l'expression de notre gratitude.

Nos vifs remerciements s'adressent à nos parents, qui nous ont toujours suivis avec leurs prières et leurs soutiens moral et financier.

Que tous ceux qu'on n'a pas cités trouvent également l'expression de notre profonde gratitude.

Pour finir, merci à dieux de nous avoir donné la force et le courage de mener jusqu'à la fin de ce travail.

Dédicaces

À la femme la plus chère au monde la plus proche de mon cœur « ma mère » qui m'a beaucoup aidée par ses prières, que dieu la garde pour moi, j'espère qu'elle va trouver dans ce travail toute ma reconnaissance et tout mon amour.

Je dédie ce travail au cher aimé « mon père », que dieu le guérisse.

Je dédie ce travail à la mémoire de ma belle-mère que dieu bénit son âme.

À mes très chers frères Mohand et Azouaou.

À mon cher mari Med Said ainsi qu'à toute sa famille.

À mes adorables amies.

À ceux que j'aime et qui m'aiment.

Dahbia

Liste des abréviations

CH : Coefficient d'hydratation

GH: Gluten humide

GS: Gluten sec

F: Farine

H : Humidité

G : Gramme

TC : Teneur en cendres

SDS : Sodium Dodécyl Sulfate

P : Pression

G : Gonflement

W : Force boulangère

Ie : Elasticité

°C : Degré Celsius

% : Pourcentage

Liste des figures

Figure 1 : Coupe longitudinale présentant les constituants du grain	3
Figure 2 : Diagramme de mouture de blé tendre	8
Figure 3 : Les Mélanges de la farine avec le son et le germe	25
Figure 4 : Alvégramme.....	30
Figure 5 : Alvégramme de la farine témoin F1	37
Figure 6 : Pain de farine F1	45
Figure 7 : Pain de farine F2	45
Figure 8 : Pain de farine F3	45
Figure 9 : Pain de farine F4	45

Liste des tableaux

Tableau I : Composition chimique de la farine blanche	9
Tableau II : Teneur en vitamines du pain blanc.....	17
Tableau III : Teneur en minéraux du pain blanc.....	17
Tableau IV : Composition biochimique du germe de blé	23
Tableau V : Composition des échantillons.....	25
Tableau VI : Résultats des analyses physico-chimiques des farines	34
Tableau VII : Paramètres alvéographiques de la farine témoin	37
Tableau VIII : Résultats des analyses technologiques des farines	41
Tableau IX : Caractéristiques du pain	44

Sommaire

Remerciements

Dédicaces

Résumé

Liste des Abréviations

Liste des Figures

Liste des Tableaux

Introduction générale 1

Partie 1 : Synthèse bibliographique

Chapitre I : Généralités

1-Généralité sur le blé..... 3

2-Généralité sur le blé tendre..... 3

2.1- Morphologie et structure du grain de blé 3

2.2- Composition et valeur nutritionnelle..... 4

Chapitre II : la farine

1- Définition selon la norme algérienne..... 5

2- Classification des farines 5

3- Transformation technologiques de blé en farine 5

4-Composition chimique de la farine 9

Chapitre III : Pain et panification

1- Définition..... 13

2- Technologie panaire 13

2.1- Les étapes de panification..... 13

2.2- Les paramètres de la panification..... 15

2.3- La valeur nutritionnelle du pain 16

Chapitre IV : le son de blé tendre

1- Définition..... 18

2- Composition du son. 19

3-Utilisation du son de blé.....	19
4- la valeur nutritionnelle spécifique de son.....	19
5. Rôle des fibres dans la protection de l'organisme	20
Chapitre V : le germe de blé tendre	
1- Définition.....	21
2- Composition chimique et valeur nutritionnelle.....	21
3-Récupération du germe de blé.....	22
4- Différentes formes d'utilisation de germe de blé.....	22
4.1- Utilisation de germe de blé entier.....	23
4.2- Utilisation des protéines de germe de blé.....	23
Partie 2 : Expérimentation	
I. Matériel et méthodes	
1. Matériel végétal.....	24
2. Méthodes d'analyses	25
2.1- Analyses physicochimiques	25
2.1.1- Taux d'humidité.....	25
2.1.2- Taux d'affleurement.....	25
2.1.3- Teneur en cendres	26
2.1.4- Test de sédimentation SDS	27
2.2- Analyses technologiques	28
2.2.1- Test alvéographique.....	28
2.2.2- L'indice de chute d'Hagberg.....	30
2.2.3- Teneur en gluten	31
2.3- Test de panification.....	32

II. Résultats et discussion

1. Qualité physicochimiques	33
1.1-Granulométrie	33
1.2– Teneur en eau	33
1.3- Teneur en matière minérale.....	34
1.4- Teste de sédimentation SDS	35
2. Qualité technologiques	35
2 .1- Alvéographe	35
2.1.1- L'indice de gonflement G ou la longueur L	36
2.1.2- la ténacité (P).....	37
2.1.3- La force boulangère W	37
2.1.4- Le rapport d'équilibre P/L	38
2.1.5- L'indice d'élasticité Ie.....	38
2.2- Teneur en gluten (le gluten humide et le gluten sec).....	39
2.3- Indice de chute d'Hagberg	39
3. Test de panification	41
Conclusion.....	45
Référence bibliographiques	46

Introduction générale

Introduction générale

Se nourrir fait partie des premiers besoins humains à satisfaire. De nos jours, les préoccupations ne sont plus seulement d'ordre quantitatif, mais elles sont de plus en plus d'ordre qualitatif. En effet, les consommateurs cherchent des aliments faits à partir d'ingrédients qui apportent des bénéfices pour la santé. Toutefois, la saveur et l'apparence des produits restent des facteurs décisifs de choix.

Le pain occupe une place majeure dans notre équilibre alimentaire, du fait de sa valeur énergétique élevée en sucres complexes et son apport apprécié en éléments nutritifs non énergétiques qui sont indispensables à la ration alimentaire. En revanche, certains pains comme le pain complet ont une teneur en fibres plus «élevée que le pain courant ». Pour les sujets sains, une alternance de consommation de pain courant et pain complet contribue à l'apport en fibres et aide à réguler le transit intestinal (Cabrol, 2006). Le son contient de nombreux éléments nutritifs (vitamines et minéraux). Une meilleure compréhension de l'effet du son de blé sur la qualité du pain pourrait permettre d'améliorer la qualité de ce dernier. Ainsi, la fabrication d'un pain diététique avec la farine blanche enrichie au son pourrait être une solution au problème de la qualité de pain d'une part, et améliorer l'état sanitaire des patient atteints de certains troubles digestifs (Cabrol, 2006). Ainsi, favoriser une bonne digestion et la santé du système immunitaire.

Le germe de blé est un véritable concentré de nutriments essentiels pour l'organisme. Sa valeur nutritionnelle et thérapeutique excellente le rendent un sous produits idéal et un supplément alimentaire d'enrichissement important dans différents produits. Il est considéré comme l'une des sources potentielles de protéines semblable à celle des protéines animales dont le coût est relativement moindre (Fatma *et al*, 2010). Il est riche en alpha-tocophérol (vitamine E) (Kumar *et al*, 2011), en vitamines B et en fibres, même si sa teneur est inférieure à celle du son, il n'en reste pas moins une source composée aux trois quart de fibres insolubles qui participe au transit intestinal, et pour le reste de fibres solubles qui tendent à emprisonner le cholestérol alimentaire et à faire baisser l'index glycémique du repas, Ce précieux germe est aussi un concentré de minéraux et en huile contenant une grande proportion l'acides gras insaturés (Zacchi *et al*, 2006).

Introduction générale

Ainsi, l'incorporation de sous produits (son de blé, germe de blé) dans un aliment facile à préparer touche aujourd'hui une grande partie de la population dont les raisons de leurs utilisations révèlent de nombreux facteurs qui sont à la fois d'ordre culinaire, économique et de santé (Howard *et al*, 2011).

Dans le présent travail, nous nous sommes intéressés à étudier l'impact d'un mixte constitué d'un mélange de son et de germe dans des proportions différentes sur la qualité physico-chimique et technologique d'une farine panifiable et sur le produit final, à savoir le pain long type baguette.

1-Généralités sur le blé

1.1-Définition

Le blé est une monocotylédone qui appartient au genre de *Triticum* de la famille des graminées. C'est une céréale dont le grain est un fruit sec indéhiscence, appelé caryopse constitué d'une graine et de téguments (Šramkova *et al*, 2009). On distingue deux espèces de blé : le blé tendre et le blé dur. Le blé tendre (*Triticum aestivum*) dont l'amande est relativement friable donne après mouture de la farine ; qui sera valorisé en boulangerie, comme la pâtisserie, biscuiterie crêperie, et aussi pour la fabrication des sauces. Alors que le blé dur, se caractérise par une amande vitreuse qui après mouture donnera de la semoule, qui est employée pour la fabrication du couscous, spaghetti et autres produits (Roussel, 2002).

2-Généralité sur le blé tendre

2.1- Morphologie et structure du grain de blé

Les grains de blés tendres sont de formes ovoïdes, possèdent sur l'une de leur face un sillon et à l'extrémité opposée de l'embryon des touffes de poils : la brosse. La longueur du grain est comprise entre 5 et 8 mm, sa largeur entre 2 et 4 mm, son épaisseur entre 2.5 et 3.5 mm, sa section longitudinale entre 10 et 16 mm², sa section transversale entre 4 et 7.5 mm², son poids entre 20 et 50 mg et sa densité entre 1.3 et 1.4 (Hemery *et al*, 2007). Le grain de blé est constitué de trois parties qui sont représentées dans la figure (1).

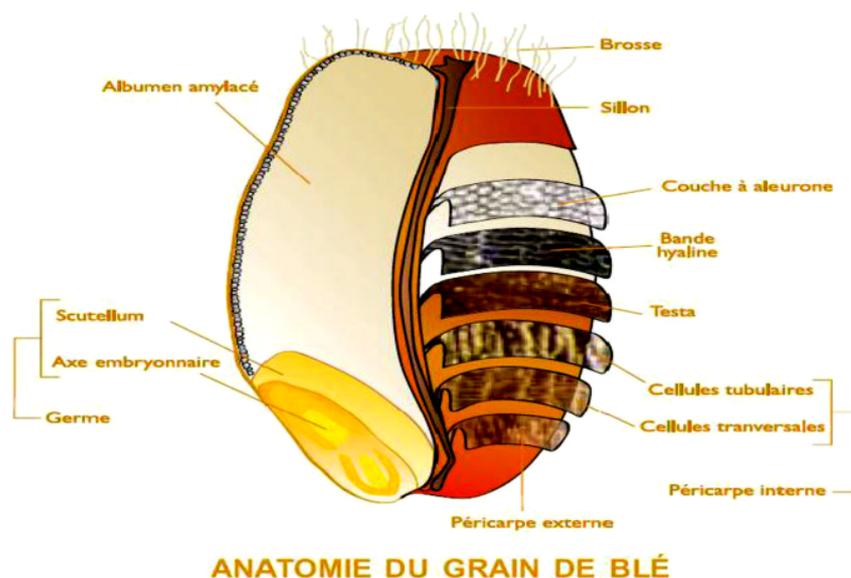


Figure 1 : Coupe longitudinale présentant les constituants du grain (Paul, 2007)

2.1.1-Les enveloppes

Constituent 13 à 15 % du grain, c'est un ensemble de couches de cellules superposées qui porte à leur extrémité de courts poils, formant la brosse. On distingue de l'extérieur vers l'intérieur (figure1), l'enveloppe de fruit ou péricarpe qui représente 4 % du grain, elle est formée de : de l'épicarpe, formée de cellules épaisses, le mésocarpe avec des cellules transversales et l'endocarpe, formé par des cellules tubulaires. Le tégument séminal ou testa et la bande hyaline constituent l'enveloppe de la graine proprement dite, représentent 2% du grain. L'assise protéique ou cellules à aleurones qui représentent 7 à 9 % du grain, se caractérise par sa richesse en protéines, lipides, vitamines, minéraux, celluloses et lignines (Brulé *et al*, 2007). Au cours de la mouture, ces enveloppes donnent le son, qui comporte aussi une certaine quantité d'amande farineuse adhérant à l'assise protéique (Dacosta, 1986).

2.1.2-L'albumen ou l'amande farineuse

L'albumen constitue 82% du grain. Il se présente sous forme de cellules longitudinales contenant des granules d'amidon, enchâssés dans une matrice protéique. (Brulé *et al*, 2007).

2.1.3-Le germe

Le germe est riche en lipides, en protéines, en vitamines et en éléments minéraux. (Feillet (2000)). Celui-ci représente environ 3% du grain. Il est éliminé lors de la mouture pour éviter le rancissement et permettre d'augmenter la durée de conservation. Il est aussi composé d'un embryon, lui-même formé des coléoptiles, de la gemmule, de la radicule, du coléorhise, de la coiffe et du Scutellum (Jeantet *et al*, 2007).

2.2-Composition et valeur nutritionnelle

Les grains de blé se composent principalement d'amidon (65-75 %), de protéine (7-14 %) selon les variétés et les conditions de culture), des lipides (2-6 %), d'eau (12-14 %), des micronutriments, des minéraux (particulièrement magnésium), des vitamines du groupe B et des composés bioactifs: vitamine E, composants antioxydants (acides phénoliques, caroténoïdes) et des lignanes (Shewry, 2009). Les composés qui ont une bonne valeur nutritionnelle sont présents en quantité appréciable dans le grain de blé et au niveau de quelques tissus particuliers. Certains de ces composés (vitamines, acides phénoliques, lignanes, ...) jouent un rôle important sur le plan nutritionnel (Shewry, 2009), et technologique conduisant à la production d'une gamme de produits comme le pain, les pâtes alimentaires, biscuits et autres, etc...).

1- Définition de la farine selon la norme algérienne

Selon le décret exécutif n°91-572 du 31 décembre 1991 relatif à la farine de panification et au pain, la dénomination «farine» ou «farine de panification » sans autre qualification, désigne la farine de blé tendre *Triticum aestivum*. Ainsi, la farine de panification est définie comme étant le produit de la mouture de grains de céréales aptes à la panification et préalablement nettoyés, sans autre modification que la soustraction partielle ou totale des germes et enveloppes.

2- Classification des farines

La classification est basée sur la teneur en cendres ou matières minérales. Du type 45 à 150, on passe de la farine la plus blanche à la plus piquée riche en enveloppes du grain (Brulé *et al*, 2007). Pour le pain courant, la farine utilisée est de type 55 (taux d'extraction à environ 75%), ce qui signifie qu'elle contient environ 0,55 g de minéraux pour 100g de farine.

En Algérie, selon le décret exécutif n°91-572 du 31 décembre 1991 relatif à la farine de panification et au pain, les taux d'extraction des différents types de farine de blé tendre sont fixés comme suit :

2.1-Farine de type courant

-minimum : 1 point au dessous du poids spécifique (PS-1).

-maximum : 2 points au dessus du poids spécifique (PS+2)

2.2- Farine de type supérieur

-minimum : 8 point au dessous du poids spécifique (PS-8).

-maximum : 5 point au dessous du poids spécifique (PS+5).

3- Transformation technologique du blé en farine

Les moulins d'aujourd'hui sont entièrement automatisés, un nombre restreint de personnel suffit à faire fonctionner un moulin moderne. Certains moulins disposent d'un laboratoire intégré permettant de tester les qualités technologiques des blés, et pour les plus grandes minoteries, un laboratoire pour les tests de panification. Pour obtenir la farine souhaitée, chaque meunier met au point un diagramme de mouture, 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 la farine, il faut comprendre le parcours que le grain de blé effectue dès son arrivée au moulin.

3.1-Le parcours du grain de blé :**3.1.1-Le nettoyage du blé**

Dès son arrivée au moulin, 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 lesquels éliminent les impuretés : terre, pierres, pailles, grains vides, poussières, autres graines. Après l'avoir nettoyé, des trieurs permettent de ne conserver que les grains de blé purs. Les grains de blé sains sont humidifiés 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.

3.1.2-Les étapes de la mouture (figure 2)

Après le nettoyage, la transformation du grain de blé s'opère en trois étapes : le broyage, le claquage, le convertissage. Chacune de ces étapes représentent 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.

Le 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.

Le claquage

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

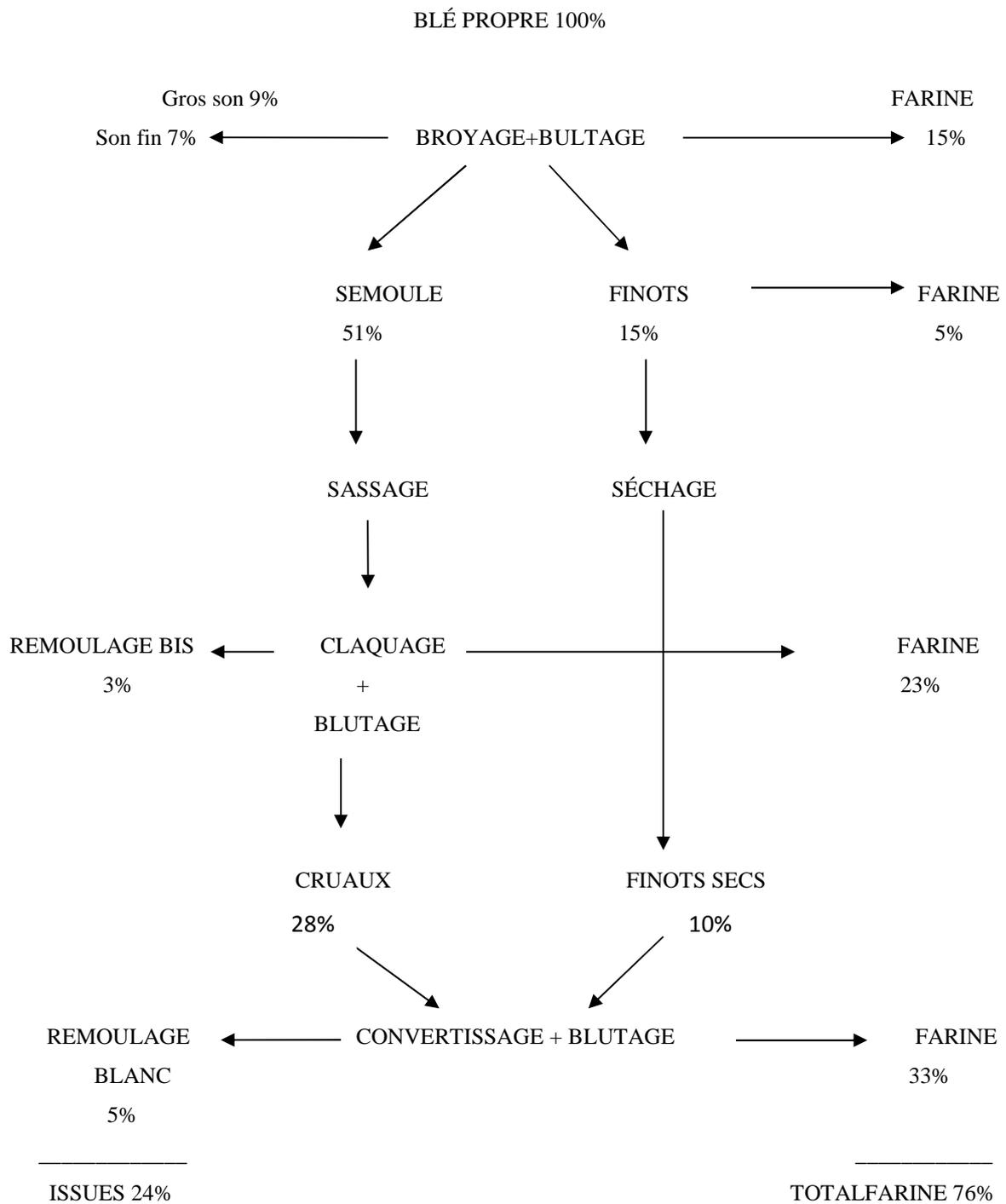


Figure 2 : Diagramme de mouture de blé tendre Godon (1991)

Le convertissage

Les convertisseurs sont des cylindres lisses tournant en sens contraire, ils reçoivent le produit d'extraction des claqueurs de grosses taille (gruaux, finots) dont le but est de les écraser pour obtenir de la farine (Rousselet *al.*, 2005), le mélange est ensuite envoyé sur un plansichter et le refus intermédiaire à nouveau sur des convertisseurs. La farine issue du convertissage correspond à environ 33% de la farine totale (Fredot, 2005).

3.1.3 : Les différents types de farines

La farine de blé tendre ou de froment est la plus couramment utilisée en boulangerie. Elle est classée selon des "types" définis en fonction du taux de cendres, c'est-à-dire en fonction du taux de minéraux présent dans la farine. Cette teneur en matière minérale est obtenue par une analyse qui consiste à brûler la farine et à peser le résidu : "les cendres".

Les types de farine sont donc définis en fonction du taux de cendres contenu dans 100 gr de matière sèche. Plus elle est épurée, plus le taux de cendre est faible. Ce taux est réglementé par les Pouvoirs publics. Pour fabriquer le pain courant, le boulanger utilise généralement de la farine de type 65 : le taux de résidus minéraux ou taux de cendres est compris entre 0,62 % et 0,75 %. La farine la plus complète est de type 150.

À chaque farine son usage :

Le blé tendre, livre des farines destinées à la panification, à la pâtisserie et à la cuisine.

-Type 45 : très blanche, pour la pâtisserie, la viennoiserie et la cuisine,

-Type 55 et 65 : pour le pain courant et les biscuits,

-Type 80 : pour le pain de campagne et pains spéciaux,

-Type 110 et 150 : pour du pain au son et du pain complet (intégrale).

Si le blé fournit l'essentiel de la farine, d'autres farines sont également produites par le meunier.

4- composition chimique de la farine

La composition de la farine consignée dans le tableau 1, diffère de celle du grain dont elle provient, pour deux raisons : d'abord naturellement, à cause de l'élimination des issues, et en second lieu parce qu'au contact de l'air humide, elle éprouve des modifications ; en absorbant de l'eau, elle ne subit pas seulement une variation dans les proportions de ses principaux constituants par l'adjonction d'un éléments inerte, mais elle peut devenir aussi le siège de réactions chimiques entre certains de des éléments. Ces réactions étaient impossibles à l'intérieur du grain de blé sec, où ces éléments étaient séparés par des membranes cellulaires (Chene, 2001).

Tableau I: Composition chimique de la farine blanche (Fredot, 2005).

Composition/100g	Farine blanche
Protéines (g)	10
Lipides (g)	1,3
Amidon (g)	70
Sucres simples (g)	1,5
Fibres (g)	3,5
Minéraux (mg)	
Potassium	140
Sodium	3
Phosphore	120
% phosphore phytique	30 à 40 %
Calcium	16
Ca/P	0,13
Magnésium	20
Fer	1,2
Vitamines (mg)	
B1 (thiamine)	0,1
B2 (riboflavine)	0,05
B3 (niacin)	0,6
B6 (pyridoxine)	0,2
E (α -tocophérol)	03
Apport énergétique kcal	345

4.1- les glucides

La principale fonction des glucides est de fournir de l'énergie. La farine panifiable comporte divers types de glucides. Des sucres réducteurs et non réducteurs, de l'amidon, des pentosanes, de la cellulose. (Guine et Godon, 1994).

4.1.1- les sucres complexes (amidon)

L'amidon est le principal polysaccharide de réserve des végétaux supérieurs. Le grain de blé et l'albumen en contiennent respectivement 67-68% et 78-82%. C'est l'un des polymères fonctionnels les plus importants des aliments en raison de son pouvoir gélifiant, viscosifiant et fixateur d'eau (Feuillet, 2000).

Craig et Starck cité par Bernard et Carlier (1992), précisent que lors de traitement mécanique, la structure du grain est altérée, il y a généralement fissuration des grains accompagnés d'une libération de chaînes d'amylose libres. Ces phénomènes augmentent la capacité d'absorption d'eau et améliorent l'amylolyse lors de la panification, ainsi que lors de la cuisson, l'amidon et les produits d'amylolyse situés à la périphérie interagissent avec les dérivés protéiques formant ainsi la croûte dorée.

Guilbet et Godon cités par Bernard et Carlier (1992), indiquent que dans la mie, l'amidon gonfle et se gélifie partiellement, le réseau de gluten coagule, formant le squelette qui maintient la forme de pain.

4.1.2- les sucres simples

Dans la farine les sucres simples préexistants sont composés de glucose, de fructose, de saccharose, de maltose et de petites chaînes de pentose ou de glucose. Ils représentent environ 1,5 à 2 % par rapport à la matière sèche. Ce sont des sucres fermentescibles que la levure utilise au début de la fermentation, avant l'hydrolyse de l'amidon (Bruléet *al*, 2007)

4.2- Les fibres

Les fibres représentent environ 3,5% par rapport à la matière sèche des farines de type 55. Elles sont de nature glucidique, indigestibles par l'homme (Fredot, 2005).

4.3- Les protéines

D'après Fredot (2005), la teneur en protéine des farines est d'environ 10%. Elle est en fonction de la teneur en protéines des blés mis en mouture, de la répartition de celle-ci dans le grain et du taux d'extraction de la farine (Alais et Linden, 2003).

4.4- Les lipides

Dans la farine, le taux de lipide varie entre 1,5 et 2% du poids sec, la teneur et la composition des lipides des différentes fractions du blé varient de façon notable. Le germe est la fraction du blé qui contient le plus de lipides. (Guinet et Godon, 1994).

De ce fait, la composition lipidique des farines dépend des conditions de mouture et de leurs taux de purification (Feillet, 2000).

On distingue les lipides polaires, non polaires et les pigments colorés. Les lipides non polaires (triglycérides, mono et diglycérides, acides gras libres) représentent la fraction majoritaire des lipides liés environ 60%. Les acides gras qui les composent sont des acides gras à chaînes longues, majoritairement insaturés, intéressant du point de vue nutritionnel mais aussi très sensible à l'oxydation (Roussel, 2002).

Bourdeau (1992), montre que les lipides neutres jouent le rôle d'agents lubrifiants et tensioactifs en association avec les protéines et l'amidon, facilitant ainsi le développement de la pâte boulangère au moment de pétrissage. Les lipides polaires (glycolipides et les phospholipides) constituent l'essentiel des lipides libres, représentent environ 40% des lipides de la farine.

D'après Multon (1982), les lipides polaires libres font augmenter de façon importante le volume de la mie de pain. Les pigments colorés sont essentiellement, du carotène et de la xanthophylle. Ce sont ceux qui confèrent la teinte jaune crème à la farine (Roussel, 2002).

Feillet (2000), précise que le rôle des lipides en panification est double, d'une part, ils agissent sur les propriétés rhéologiques de la pâte, d'autre part, sur la formation et la stabilité des alvéoles de gaz dans la pâte et améliorent le volume du pain, alors que les lipides non polaires exercent un effet négatif.

4.5- L'eau

La teneur en eau des farines est faible. Représente environ 13% et peuvent donc se conserver longtemps (Fredot, 2005). Un excès d'humidité occasionne dans les farines une fermentation qui leur communique une saveur âcre et repoussante. L'influence de ces altérations est principalement sensible quand on examine la nature du gluten, qui est d'autant plus liant et élastique que la farine est pure.

4.6- Les éléments minéraux

Les farines sont caractérisées par leurs teneurs en cendres, qui sont d'autant plus bases que le taux d'extraction est plus faible (Alais et Linden, 2003). Elles contiennent le calcium (Ca), le magnésium (Mg), le phosphore (P), le potassium (K), le sodium (Na), le fer (Fe) et le

civre (Cu). Fredot (2005), indique que la teneur de la farine en ces éléments dépend surtout des paramètres du diagramme de mouture (taux extraction). Au cours de la mouture, la farine s'appauvrit en minéraux ; près des 2/3 sont éliminés.

Un grain de blé contient de 1,6 à 2,1 % de matières minérales alors que la farine type 55 ne contient que 0,55% (Vierling et Frenot, 2001). Les matières minérales elles mêmes sont inertes et n'ont pas d'effets sur les caractéristiques boulangères de la farine (Bourdeau et Menard, 1992).

4.7- Les enzymes

Les enzymes sont présentes en petites quantité dans la farine. Les plus courantes sont les protéases, les lipases, les lipoxygénases et les amylases. Il existe également des phytases, des peroxydases, des catalases, des pentosanases et des peroxydases, mais leurs activités sont faibles (Feillet, 2000 ; Brulé *et al*, 2007).

4.8- les vitamines

Teneur en vitamines dans la farine est liée aux procédés de meunerie et au taux d'extraction. Le grain de blé renferme une quantité intéressante de vitamine E et de vitamine de groupe B, la vitamine E dans le germe, les vitamines B (thiamine (B1), riboflavine (B2), vitamine pp (acide nicotinique), pyridoxine (B6)) sont localisées principalement dans les enveloppes externes du grain de blé, dans l'assise protéique et dans le germe.

Tremoliere *et al* (1980), indiquent qu'actuellement la mouture classique élimine une grande partie du scutellum et certains appareils ont été imaginés pour le récupérer et séparer des issues. On dispose ainsi d'un véritable « concentré » de vitamine B1 qui pourrait enrichir naturellement les produits de régime.

1-Définition du pain

Selon le décret exécutif n°91-572 du 31 décembre 1991 relatif à la farine de panification et au pain, la dénomination « pain » s'applique à la pâte fermentée composée de farine de panification ou de préparation pour panification conforme aux normes, additionnée d'eau, de levure et/ou levains et cuite conformément aux bonnes pratiques de fabrication.

Le mot pain est réservé aux produits de cuisson de la pâte obtenue par pétrissage d'un mélange de : farine de blé ; eau potable ; sel et d'un agent de fermentation, les proportions de ces ingrédients sont définies par la législation (Fredot, 2005). Parfois d'autres ingrédients (acide ascorbique, farine de fève) sont ajoutés afin d'améliorer certains caractères du produit fini (Feillet, 2000).

Calvel (1994) cité par Feillet (2000), un pain de qualité est un produit de bel aspect, d'un bon volume, à la croûte légèrement cassée, bien dorée et croustillante, à la mie souple et élastique, bien aérée, à la teinte blanc crème, à l'odeur agréable, et d'un tout dont la flaveur est séduisante et appétissante.

2-Technologie panaire

L'objectif de la panification est la transformation de la farine, additionnée éventuellement d'autres ingrédients en un aliment cuit (Godon, 1991). La méthode la plus utilisée est la méthode directe qui consiste à ajouter la levure déshydratée directement dans le pétrin. Les conséquences de cette technique sont les suivantes : réduction du temps et d'énergie requis pour la fabrication, augmentation du volume du pain, blanchissement de la mie, évolution rapide des qualités physiques du pain et modification du goût.

2.1- Les étapes de la panification

2.1.1- pétrissage : Le pétrissage est la première étape de la fabrication du pain, le pétrissage est une opération dont la bonne conduite conditionne en grande partie la qualité des produits finis (Feillet, 2000). Selon Brulé et al (2007), il permet l'obtention d'un mélange homogène des différents ingrédients ainsi que la texturation du gluten et l'aération de la pâte. Cette étape est en fait constituée de trois phases :

2.1.1.1- Le frasage : consiste à mélanger la farine et l'eau à des vitesses lentes pendant généralement 5 mn pour disperser cette dernière entre les particules de la farine. L'amidon et le gluten gonflent ainsi, suite à l'absorption de cette eau.

2.1.1.2 : L'autolyse : consiste en un repos de la pâte d'environ 15mn et repose sur l'évolution et l'amélioration naturelle des propriétés physiques de la pâte. Au cours d'une autolyse, les protéines du gluten s'hydratent et subissent l'action des protéases et s'assouplissent.

2.1.1.3 : Le malaxage : c'est le pétrissage proprement dit : cisaillement, extension et compression de la pâte pendant 10 à 20 minutes avec des vitesses généralement deux fois plus rapides. Il assure l'incorporation d'air dans la pâte ainsi que sa structuration. Il assure également le réarrangement du réseau protéique du gluten et l'alignement des molécules de gluténine et gliadines, tout en formant une sorte de maillage appelée le réseau gluténine qui donne à la pâte sa ténacité et son élasticité.

En ce qui concerne l'impact du pétrissage sur le produit fini, Dacosta (1986), indique qu'un pétrissage peu intense génère un gluten mal formé et mal développé, dans ce cas la structure alvéolaire obtenue est plus irrégulière, le nombre d'alvéoles plus faible la rétention gazeuse moins bonne, le pain sera donc moins développé la mie plus ferme.

2.1.2 : La fermentation : Le pointage ou première fermentation, elle commence dès que la levure entre en contact avec le mélange de l'eau et de la farine. Elle assure deux fonctions principales : la levée de la pâte sous l'effet de la formation de gaz carbonique et la synthèse d'acides organiques et de molécules volatiles qui vont participer à l'élaboration du goût et de l'arôme du pain (Levavasseur, 2007). La fermentation contribue également à l'achèvement du développement du réseau protéique qui s'est formé au cours du pétrissage (Jeantet et al, 2007).

2.1.3 : Le pointage : est une opération mécanique de pesée, division, et de façonnage des pâtons, ce dernier permet de conférer à la pâte la forme qui déterminera celle du produit fini (Feillet, 2000).

2.1.4 : L'apprêt ou deuxième fermentation : Correspond à la période pendant laquelle le pâton, après façonnage, se développe pour atteindre le volume jugé optimal par le boulanger (Chargeleque *et al*, 1994).

2.1.5 : L'incision ou saccharification : De petits coups de lames sont donnés sur la surface supérieure des pâtons, ce qui forme des incisions. Elles ont pour but d'éviter les déchirures peu esthétique de la croûte sous une très forte poussée du CO₂ et sous l'action de la chaleur lors de la cuisson (Levavasseur, 2007).

2.1.6 : La cuisson : C'est la transformation de la pâte fermentée en pain, par enfournement dans un four dont la température est fixée à 250 °C avec une injection de vapeur d'eau qui assure la formation d'une croûte fine et brillante. Le volume de pain augmente brutalement après son introduction dans le four, par des gaz contenus dans les alvéoles puis, plus progressivement, par suite de l'accélération de la fermentation (Levavasseur, 2007). Cette dilatation peut devenir très importante au dessus de 70 °C.

2.1.7 : Le ressuage : Cette étape commence dès la sortie du pain du four et correspond au refroidissement du pain qui s'accompagne d'une évaporation d'eau et de gaz carbonique entraînant une légère perte d'humidité de la mie et une perte de poids du pain (Levavasseur, 2007).

2.2 : Les paramètres de la panification

Les paramètres les plus importants en panification sont :

2.2.1 : La farine : La farine est l'ingrédient principal entrant dans la fabrication du pain. Sa qualité conditionne la réussite du pain (Shapter, 2007).

2.2.2 : L'eau : Après la farine, l'eau est l'ingrédient le plus important jouant un rôle majeur dans la confection de la pâte. Elle hydrate la farine, fait gonfler les granules d'amidon et favorise l'assouplissement du gluten, ce qui donne à la pâte ses propriétés viscoélastiques lui permettant de se développer et de se laisser façonner (Bourdeau et Menard, 1992).

2.2.3 : La levure : Selon Zenedine (2004), on attribue généralement aux levures boulangères des propriétés principales au cours de la fermentation à savoir : La libération de gaz lors de la dégradation des glucides ce qui entraîne une augmentation du volume du pain, Le développement de la texture du pain et la libération de substances aromatiques outre le CO₂ et l'éthanol, ce qui développe la saveur caractéristique du pain.

2.2.4- Le sel : L'incorporation du sel se fait traditionnellement en début de pétrissage. C'est un inhibiteur des activités enzymatiques qui, incorporé en début de pétrissage ralentit l'activité des oxydases. C'est ainsi que les réactions d'oxydation des pigments caroténoïdes et des protéines sont moins marquées (Feillet, 2000). Dans la fabrication du pain par pétrissage intensifié avec incorporation tardive du sel (5 mn avant l'arrêt du pétrissage), la décoloration de la pâte est donc plus forte, la prise de force est plus marquée (développement de la structure gluténique favorisé) et les phénomènes de collant sont en outre diminués.

2.2.5- Température du pétrissage : Au cours du pétrissage, on constate une élévation de la température de la pâte. On considère que celle-ci est comprise entre 23 et 25°C pour une pâte de farine de blé. Cette augmentation a pour conséquence d'augmenter l'activité enzymatique, d'élever la vitesse d'hydratation et de diminuer les forces des liaisons moléculaires en diminuant ainsi la consistance de la pâte.

2.2.6- Intensité du pétrissage : Un pétrissage intense permet d'augmenter la quantité d'air incorporée. Cela se traduit par une décoloration de la mie suite à l'oxydation des pigments caroténoïdes, et par une modification des composés aromatiques liée aux réactions d'oxydation catalysées par la lipoxygénase de la farine. Il augmente également l'extensibilité de la pâte ainsi que le volume du pain, améliore les coups de lame et diminue l'épaisseur de la croûte. Dacosta (1986), indique qu'un pétrissage génère un gluten mal formé et mal développé. Dans ce cas, la rétention gazeuse est moins bonne donnant ainsi une structure alvéolaire irrégulière avec un nombre d'alvéoles faible.

2.3- Valeur nutritionnelle du pain

Le pain occupe une place majeure dans notre équilibre alimentaire. Or, ses qualités nutritionnelles sont souvent méconnues ou connues de façon parcellaire par les professionnels de santé. Toutefois, le pain apparaît comme une source nutritionnelle importante de glucides (56%), de protéines végétales (8%) et de fibres (3,5). Il contribue aussi à couvrir une partie des apports en vitamines (en particulier celles du groupe B), et en éléments minéraux (Cabrol, 2006).

2.3.1- Les glucides : Selon Fredot (2005), le pain est constitué majoritairement de glucides représentés essentiellement par l'amidon (54%), gélatinisé et hydrolysé en dextrines, facilement dégradables par les amylases salivaires et pancréatiques conférant aux pains la propriété d'être assimilable par l'organisme. Le pain contient peu de sucres simples, moins de 2%. Il s'agit de glucose, maltose, saccharose, présents initialement dans le grain de blé, ou issus de l'hydrolyse de l'amidon qui intervient au cours de la fabrication. Durant la cuisson du pain, certains de ces sucres se lient avec les acides aminés dans une réaction de Maillard (Cabrol, 2006).

2.3.2- Les protéines : Le pain fait partie des aliments à base des céréales les plus riches en protéines végétales. Son apport en celle-ci est deux à quatre fois plus important que d'autres féculents (respectivement les pâtes et le riz) (Cabrol, 2006). D'après Fredot (2005), on note une légère baisse de sa teneur protéique au cours de la panification due à des réactions de

Mallard entre la lysine et les sucres réducteurs apparaissant au niveau de la croûte. Cependant leur digestibilité est augmentée. Feillet (2000), indique que c'est à cause de leur déficience en lysine que les protéines de blé, et plus encore celles de la farine et du pain, doivent leur faible valeur nutritionnelle.

2.3.3- Les lipides : Le pain courant est entièrement dépourvu de lipides (1%) (Cabrol, 2006).

2.3.4- Les fibres : Le pain courant participe à la couverture de cet apport puisqu'une baguette de 100g couvre environ 25% des apports nutritionnels conseillés. Cependant, il y participe davantage lorsqu'il sera sous forme de pain complet ou pain au son (Fredot, 2005).

2.3.5- Les vitamines : Le pain contribue à l'apport en vitamines E et celles du groupe B. Leurs teneurs augmentent avec le taux d'extraction de la farine, du fait que les vitamines B sont localisées dans les enveloppes externes, et les vitamines E sont concentrées dans le germe (Cabrol, 2006). Les vitamines présentes dans le pain sont consignées dans le tableau II.

Tableau II : Teneur en vitamines du pain blanc (valeur pour 100g) (Fredot, 2005).

Vitamine	B ₁	B ₂	B ₃	B ₅	B ₆	B ₉	E
Teneur dans le pain blanc (mg)	0,09	0,05	01	0,3	0,12	23	0,18

2.3.6- Les éléments minéraux : Selon Fredot (2005), le pain contient les minéraux suivants : le potassium, le phosphore, le sodium (particulièrement apporté par salage), le calcium, le fer et le magnésium. Une grande partie du phosphore se trouve sous forme d'acide phytique qui présente la propriété de lier les actions bivalents en donnant des sels insolubles, donc non absorbables. Etant donné que le rapport Ca/P est inférieur à 1 (Ca/P=O, 25), le calcium du pain est mal absorbé.

Tableau III: Teneur en minéraux du pain blanc (valeur pour 100g) (Fredot, 2005).

Elément minéral	Na	Mg	P	K	Ca	Fe
Teneur dans le pain blanc (mg/100g)	650	26	90	120	23	1,4

1- Définition

Le son est un sous-produit de la minoterie, il représente avec la farine et le germe l'une des trois fractions de la mouture. Il sert à la protection physique ou chimique pour l'endosperme et le germe. D'un point de vue histologique, le son est un empilement de couches cellulaires très différentes botaniquement, cytologiquement et biochimiquement. De l'extérieur vers l'intérieur, il comprend le tégument du fruit, le manteau de la graine et la couche d'aleurone.

Péricarpe

Il provient des cellules de l'ovaire, il est constitué du péricarpe externe, du péricarpe interne et des cellules tubulaires en parallèle. Le péricarpe est transparent et facile à séparer. La composition et la structure du péricarpe est très complexe. La couche intermédiaire est brune et possède davantage de lignine, ce qui lui confère une propriété plastique supérieure aux autres couches (Antoine *et al.*, 2003). Les péricarpes ont un rôle de protection mécanique et de résistance aux agents pathogènes.

Testa

Est un assemblage pluristratifié décrit comme un ciment très hydrophobe de composition biochimique complexe. A l'intérieur de la testa, une ou deux couches de cellules très comprimées riches en lipides, incrustations phénoliques et pigmentaires. La testa joue un rôle important dans la circulation de l'eau entre la partie externe et la graine et participe au contrôle de la maturation et la germination de la graine.

Couche d'aleurone

Également appelée assise protéique, elle constitue 6-7% du poids du grain et contient des cellules riches en protéines, autres que celles du gluten. C'est la seule couche de cellules vivantes du son. Ses rôles physiologiques sont nombreux parmi lesquels elle assure à la fois un rôle nourricier via le stockage de métabolites et synthèse d'enzymes d'hydrolyse des réserves et un rôle de protection grâce à sa structure pariétale résistante. La couche à aleurone est un tissu complexe qui renferme des concentrations importantes de molécules d'intérêts nutritionnels soit 40% des minéraux (Antoine *et al.* 2003) et 20% des protéines du son (Pomeranz., 1988).

Le son constitue l'enveloppe (péricarpe) des grains de céréales, séparée de la farine par passage dans différents tamis. En général présent 10 à 17 % du poids du grain. Selon le type de mouture employé, il renferme plus ou moins de farine, et en fait, le terme générale du

son groupe divers sous produits qui sont obtenus au fur et à mesure de la purification de la farine :

-Le son proprement dit : Formé de sortes de petites écailles provenant de lacération des péricarpes (suivant les dimensions des écailles on distingue le son gros et le son fin).

-Les remoulages : constitués par le refus de la mouture après le dernier convertissage des semoules (ils correspondent au reste des téguments du grain et de la couche à aleurone).

-Les farines basses, derniers résidus avant la farine panifiable.

2- Composition du son

Les teneurs élevées en cellulose et hémicellulose ainsi que la présence de lignine et composés phénoliques, donnent au son ses propriétés de fibres alimentaires (Reis *et al*, 2006). D'après Reis et al(2006), le son est composé de 50% de polysaccharides pariétaux (environ 20% de cellulose et plus de 35% d'hémicellulose). 5% de lignine et composés phénoliques dont l'acide férulique. Il contient également 16% de protéines, 15% d'amidon, 2% de lipides, vitamines du groupe B, vitamine E et minéraux. Fredot (2005), indique que 75% du phosphore du blé se trouve sous forme d'acide phytique (phytates). Ce dernier est principalement situé dans les enveloppes donc dans le son.

3.- Utilisation du son de blé

Dans l'industrie alimentaire, le son de blé est utilisé comme alternative des substrats synthétiques utilisés dans le processus de fermentation, ainsi que dans la production d'enzymes et de métabolites secondaires. Il est aussi utilisé dans la production de plusieurs types de moisissures, dont la *Trichoderma* et la production biologique par fermentation. Cependant, l'application principale du son de blé concerne l'alimentation animale : en raison de ses propriétés nutritionnelles, il permet d'améliorer la qualité nutritionnelle des produits alimentaires de source animale.

4- Valeur nutritionnelles spécifique de son

Les sons ont une moyenne en protéines brutes (12-15%), un taux élevé d'extrait non azotés (53-56%), un taux faible de matière grasse (3-4%) et un pourcentage de cellulose variable (5- 11%), selon l'origine ils sont pauvres en calcium et riches en phosphore qui est cependant présent surtout sous forme phytique , ils sont particulièrement riches en vitamine B.

D'après Roussel (2002), si le son a certains effets négatifs notamment à cause de la présence d'acide phytique et de sa nature qui ne permet pas une assimilation optimale des

nutriments, sa richesse en fibre présente de points de vue diététique un intérêt grandissant par rapport à une alimentation de plus en plus appauvrie en ces éléments.

Les fibres sont des molécules, non digérées par l'Homme, comme la cellulose, les hémicelluloses ou la lignine. Dans le son, la cellulose et la lignine, non digestibles, représentent environ 1/3 des fibres, les 2/3 restants sont des hémicellulose et principalement des pentosanes. Les fibres encombrant les intestins, gênent les hydrolyses enzymatiques se qui conduit à une difficulté de transfert des éléments au travers de la membrane de l'intestin.

Pomeranz (1988), précise que cet effet négatif est compensé par d'autres effets positifs :

5. Rôle des fibres dans la protection de l'organisme

- **Effet sur le temps de transit :** Les fibres insolubles accélèrent le transit intestinal et permettent donc d'éviter l'accumulation de produits indésirables dans l'organisme.
- **Effet sur les selles :** Les fibres les moins visqueuses accélèrent le transit, et augmentent le poids des selles. Ces fibres permettent donc de lutter contre la constipation.
- **Effet des fibres vis-à-vis des carcinomes:** Contrairement à la farine blanche qui est dépourvue de la partie externe du grain de blé, le son de blé est riche en antioxydants, en polyphénols et en d'autres composés qui peuvent être bénéfiques pour l'organisme et prévenir plusieurs maladies. En effet, le son est une source de fibres, de protéines, de vitamines et de minéraux, L'acide phytique par exemple, qui se localise dans les couches extérieures du grain de blé d'où sa présence dans le son, présente des propriétés anti cancérigène, prévient le diabète type 2 ainsi que les problèmes cardiaque. Les fibres augmentent la sensation de satiété et ils diminuent la valeur énergétique consommée par l'organisme car la majorité des produits de dégradation des fibres sont utilisées par les bactéries de l'intestin. Plusieurs études ont aussi montré qu'une alimentation riche en fibres peut réduire le risque de cancer colorectal. Les fibres auraient un effet protecteur contre les cancers coliques et rectaux et contre la polypose colique. Par une captation par les fibres des acides biliaires et de leurs dérivés, à effet cancérigène. Le son sera à cet égard très efficace sur tout le colon.

1- Définition

Le germe de blé est situé à la base du grain, du côté opposé à la brosse. Il est formé de deux parties : l'embryon ou plantule qui donnera naissance à une nouvelle plante et scutellum, sorte de coquille elliptique qui entoure la plantule et qui la sépare de l'amande farineuse (Fatma *et al*, 2010). Il représente environ 2-3 % du poids du grain de blé, éliminé dans les farines courantes par les techniques actuelles de mouture sur cylindre et se trouvant dans les issues de meunerie sous forme de sons et remoulages (Dunford, 2005).

Le germe de blé se présente sous forme de plaquettes écrasées minces de teinte jaune vif légère à reflet verdâtre, de 3 à 6 mm de dimension, de forme irrégulière et légèrement allongée. Sa saveur est sucrée et grasse, rappelant la noix fraîche incomplètement mûre (Kiger et Kiger, 1967).

2-Composition chimique et valeur nutritionnelle

Le germe de blé est la composante principale de grain de blé. La plupart des nutriments à l'exception de l'amidon sont concentrés dans le germe (Umair Arshad *et al*, 2008 Hassan *et al*, 2010).

Plusieurs travaux ont montré l'intérêt que représente ce noble composant comme un élément d'enrichissement et de supplémentation souvent très apprécié. Le germe de blé est l'une des sources potentielles des protéines d'excellente valeur nutritionnelle semblable à celle des protéines animales (Fatma *et al*, 2010) ; il est riche en tocophérols, en vitamines du groupe B et en huile composée d'une grande proportion d'acides gras insaturés (Zacchi *et al*. 2006).

Le germe de blé constitue aussi une source potentielle de minéraux et il fournit trois fois plus de protéines, sept fois plus quantités de matières grasses, quinze fois plus de sucres et six fois plus de teneur en minéraux par rapport à la farine de blé (Zhu *et al*, 2005 ; Zhu *et al*. 2009). Les stérols qui ont un rôle de diminution du niveau de cholestérol dans le sérum sont aussi concentrés dans le germe de blé (Nystrom *et al*. 2007).

La composition chimique du germe de blé est représentée dans le tableau IV.

Tableau IV. Composition biochimique du germe de blé (en g pour 100 g de matière digestible) (Srivastava *et al.* 2007; Kumar *et al.* 2011)

Paramètres	Humidité (%)	Protéines Totales (%)	Lipides totaux (%)	Cendres (%)	Fibres (%) Solubles et Insolubles	Vitamine E mg/100g	Carbo-hydrates (%)
Germe de blé	11.4 ±0.2	25.11-31.4±0.5	7.3-9±0.2	4.2±0.1	2.8± 0.1 15.6± 0.2	15.80-22.0	51.99±1.0

3-Récupération du germe de blé

Les débris fins du germe se trouvent en majeure partie dans les remoulages et les sons fins, en revanche les gros débris sont rencontrés dans les sons moyens et gros écrasés et aplatis en flocons (Kiger et Kiger, 1967). L'embryon passe avec les grosses semoules aux cylindres de réduction et se trouvant sous forme de flocon. Le scutellum est relativement friable et difficile de le séparer des autres fractions de mouture. Dans le processus de fabrication de la farine, un tiers de scutellum se trouve attaché au son (Barnes, 1983).

En minoterie, en fonction du diagramme de mouture, le germe se trouve dans le refus des tamis du planchister qui est alimenté par les convertisseurs qui reçoivent le produit des sasseurs (alimenté par les broyeurs de tête et de milieu).

En général, la séparation se fait sur la base des propriétés physiques du germe dont sa densité est un paramètre d'appréciation. Dans les moulins qui disposent de bons équipements de séparation, le rendement en germe de catégorie alimentaire est élevé (Dunford, 2005).

Le germe commercial n'est jamais pur, il contient toujours une proportion variable de fractions de son et d'endosperme (Bolte et Finney, 1977).

4- Différentes formes d'utilisation de germe de blé

Les données statistiques sur la production de germe de blé ne sont pas disponibles mais une estimation de 10 millions de tonnes est obtenue au cours des étapes de broyage et de séparation des différentes fractions du grain de blé (Dunford, 2005). Le germe de blé est une source précieuse qui n'a jamais été utilisée de façon rationnelle et efficace. Sa valeur nutritionnelle et thérapeutiques excellentes le rendent un sous produit idéal et un supplément

alimentaire d'enrichissement important dans différents produits. Les composants bioactifs qu'il renferme permettent de l'utiliser dans d'autres domaines autres que l'agro-alimentaire (Umair Urshad *et al*, 2008 ; Piras *et al*, 2009).

Les produits alimentaires enrichis devraient avoir les caractéristiques suivantes : peu coûteux, économique, nutritif et satisfaisant pour les consommateurs. Néanmoins, l'enrichissement ne devrait pas poser des modifications importantes dans les propriétés sensorielles et fonctionnelles du produit final (Hassan *et al*. 2010).

4.1- Utilisation de germe de blé entier

Le germe de blé est commercialisé soit en farine en paillettes soit sous forme incorporée pour permettre l'enrichissement de certains produits (Megahed, 2011) tels que :

- Farines composées
- Pâtes au germe de blé et potage
- Pain au germe de blé
- Biscuits au germe de blé et galettes.

4.2- Utilisation des protéines de germe de blé

L'utilisation des protéines de germe de blé ne peut se justifier que grâce à l'emploi d'une technologie appropriée. Le matériel employé doit présenter au moins trois caractéristiques principales :

- Qu'il soit produit en quantité importante.
- Qu'il possède une haute teneur en protéines.
- Que l'équilibre de ses protéines en acides aminés soit convenable et leur valeur biologique soit élevée. En ce sens, le germe de blé répond donc à ces objectifs et son utilisation comme supplément alimentaire se justifie amplement. Les propriétés fonctionnelles des protéines du germe en l'occurrence une solubilité élevée, de bonnes propriétés émulsifiantes, des capacités moussantes et hydrophobicités, une légère texture et une saveur propre favorise donc la fabrication des protéines isolées à partir du germe de blé pour les utiliser comme ingrédient pour plusieurs produits alimentaires, les céréales et les produits de boulangerie et dans les boissons (Fatma *et al.*, 2010). Les isolats de protéine de germe de blé peuvent également être utiles dans des formulations alimentaires pour les personnes allergiques au gluten. De ce fait, les isolats de protéines présentent actuellement un intérêt particulier pour les transformateurs et les consommateurs en raison de leur faible teneur en gras et en tant que substitut pour les protéines de l'œuf et les produits laitiers (Hassan *et al*, 2010).

Matériel et méthodes

I-Matériel et méthodes

1-Matériel végétal

- La farine étudiée est de type panifiable avec un taux d'extraction de 74,5%, mise à notre disposition par la minoterie NEOFAR à Azazga.

- Le son et le germe utilisé pour la préparation des farines proviennent du blé tendre commercial qui a servi à produire la farine panifiable.

-Notre période d'étude est effectuée pendant deux mois de 20/04/2016 à 20/06/2016.

Les mélanges préparés sont indiqués dans le tableau V :

Tableau V : composition des échantillons.

Echantillons	Farine blanche (%)	Son (%)	Germe (%)
F1	100	0	0
F2	94	5	1
F3	90	8	2
F4	85	10	5



F1 (0%)



F2 (son 5%+germe 1%)



F3 (son 8%+germe 2%)



F4 (son 10%+germe 5%)

Figure 3 : les mélanges de farine avec le son et le germe de blé

1.2- Méthodes d'analyse

1.2.1- Analyses physicochimique de la farine

1.2.2.1- Taux d'humidité : (AFNOR NF VO3-707)

Principe : l'humidité représente la quantité d'eau en g par 100g du produit.

Mode opératoire :

Prise d'essai :

Pour les produits ne nécessitant pas le broyage, on opère rapidement. Peser à 1 mg près, une quantité de l'échantillon 5 g dans la capsule préalablement séché par le passage à l'étuve et refroidi ou dessiccateur jusqu'à la température de laboratoire, puis taré a 1 mg et numéroté.

Dans le cas des produits nécessitant un broyage on verse la totalité du produit de la mouture dans la capsule métallique à 1mg près puis on pèse 5grs.

Déshydratation :

On introduit la capsule contenant la prise d'essai dans une étuve pendant 90 min dans le cas de la farine, le temps compte à partir du moment où la température de l'étuve atteint 103 °C .

On opère rapidement et on tire la capsule de l'étuve et on place dans un dessiccateur. Quand la capsule atteint la température de laboratoire, on procède à la pesée à 1mg près.

Expression des résultats :

Le taux d'humidité est exprimé selon la formule suivante :

$$H\% = \frac{m_0 - m_1}{m_0} \times 100$$

m_0 = masse en (g) de la prise d'essai avant étuvage.

m_1 = masse en (g) de la prise d'essai après séchage à l'étuve.

2.2.2- Taux d'affleurement (NF X 11-500)

Principe : tamisage d'une quantité de farine (100 g) sur une série de tamis d'ouvertures normalisées.

Expression des résultats :

Taux d'affleurement de chaque tamis est = $(t/m) \times 100$. Avec :

t : la quantité (g) de produit restant sur le tamis ;

m : la prise d'essai (g)

2.2.3- Teneur en cendre (NF V 03-760/1981)

Principe : la cendre est déterminée par l'incération d'une prise d'essai dans une atmosphère oxydante jusqu'à combustion complète de la matière organique.

Mode opératoire :

1-Préparation des nacelles à incinération

Immédiatement avant l'emploi, chauffé durant 10 min les nacelles dans le four réglé à 900°C, laisser refroidir à la température ambiante dans l'appareil de refroidissement et les peser à 0,1 mg près.

2- Prise d'essai

Dans une nacelle peser à 1mg près 04g de la farine, répartir la matière en une seule couche d'épaisseur uniforme sans tasser.

Pour obtenir une incinération régulière, on peut ajouter au contenu de la nacelle avant l'incinération 1à2 ml d'éthanol ou l'huile végétale.

3- Pré incinération

La porte du four étant ouverte, placer la nacelle et son contenu à l'entrée du four, préalablement chauffé à 900°C, jusqu'à ce que la matière s'enflamme. S'assuré que la combustion n'est pas trop rapide, de façon à éviter la perte par projection de particule solide de substance.

4-Incinération

Une fois la flamme est éteinte, placer avec précaution la nacelle dans le four. En général, le temps d'incinération est de 1h15min pour la farine. Quand l'incinération est terminée, retirer la nacelle de four et la mettre à refroidir, sur la plaque thermorésistante pendant 1min puis dans l'appareil de refroidissement jusqu'à la température ambiante, la peser alors rapidement à 0,1 mg près, à cause du caractère hygroscopique des cendres.

Expression des résultats :

Le poids des cendres est d'abord calculé en pourcentage de la matière humide puis rapporté à la matière sèche.

$$TC_1 = \frac{p_3 - p_1}{p_2 - p_1} \times 100$$

$$TC_2 = \frac{p_3 - p_1}{p_2 - p_1} \times 100 \times \frac{100}{100 - H}$$

Matériel et méthodes

TC₁: teneur en cendres par rapport à la matière humide.

TC₂ : teneur en cendres par rapport à la matière sèche.

P₁ : le poids d'une nacelle vide.

P₂ : le poids de la nacelle+ (5g) de la prise d'essai

P₃ : le poids de la nacelles+ cendre.

H : taux d'humidité.

2.2.4- Test de sédimentation de Zélény SDS (ISO 5529 : 1992)

Principe : Selon BERLAND et ROUSSEL (2005), ce test basé sur l'absorption d'eau par le gluten et le gonflement de celui-ci lorsqu'il est en présence d'acide lactique.

La farine est mélangée à une solution diluée d'acide lactique, après agitation le mélange est laissé au repos, une sédimentation ou dépôt va se former progressivement au fond du tube, la hauteur du dépôt va dépendre de la quantité d'eau absorbée et du gonflement des protéines.

Mode opératoire :

Produits :

- Sodium Dodécyl Sulfate
- Acide acétique à 90%

Réactifs :

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

Préparation de l'échantillon :

- Prise d'essai de : 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 n°1 (AXFORD) :

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

- L'horloge est réglée à 0
- t=0, le mélange est agité rapidement pendant 15 secondes
- t=2mns, le mélange est agité rapidement pendant 15 secondes
- t=4mns, le mélange est agité rapidement pendant 15 secondes
- Immédiatement 50ml du réactif SDS-Acide lactique à 22°C est ajouté.
- Le cylindre est retourné 4 fois pour mélanger et l'horloge est réglée à 0

Matériel et méthodes

- t=2mns, le cylindre est retourné 4 fois
- t=4mns, le cylindre est retourné 4 fois
- t=6mns, le cylindre est retourné 4 fois
- Le cylindre est retiré du bain-marie et est placé en position verticale.

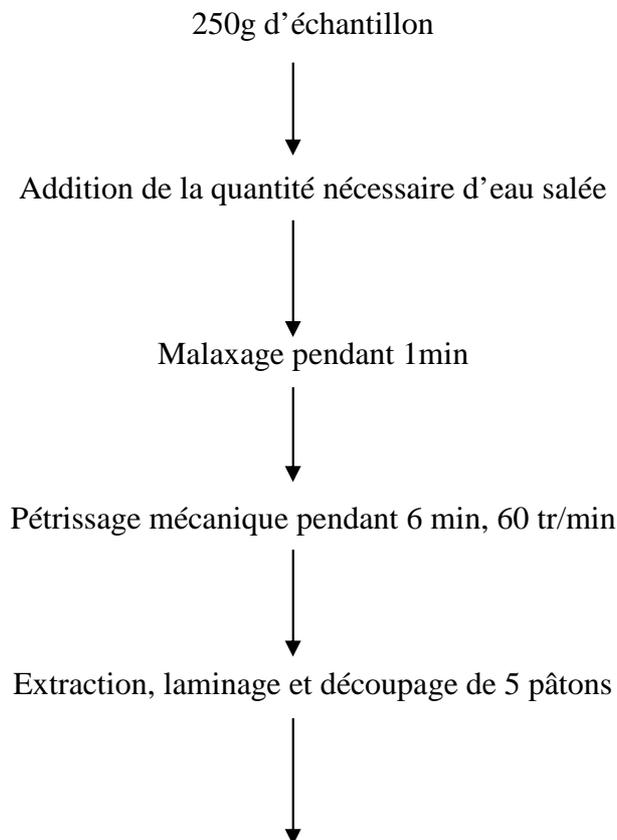
Expression des résultats : Il reste au repos 20 mn pour lire le volume de dépôt.

2.3- Analyses technologiques de la farine

2.3.1- Test alvéographique (AFNOR V 03-710) :

Principe : L'alvéographe repose sur le gonflement d'un disque de pâte soumis à une pression d'air. La pâte est préparée à partir de 250 g de farine et d'eau salée (la teneur est normalisée selon la norme NF.03-707). Après 6 mn de pétrissage, la pâte est laminée à l'aide d'un rouleau sur un plateau, la pâte est ensuite lubrifiée avec de l'huile de paraffine. Ensuite découpée à l'aide d'un emporte-pièce en éprouvettes circulaires. Après 20 minutes de repos, on procède au gonflement de ces éprouvettes qui prennent la forme d'une bulle, et on enregistre sous forme de courbes, dites alveogrammes.

Mode opératoire :



Repos des pâtons pendant 20 min dans la chambre isotherme de l'alvéographique à 25%

Matériel et méthodes

Préparation des éprouvettes :

-Inverser le sens de rotation du fraiseur. Dégager la fente d'extraction en relevant le registre de fermeture et placer quelques gouttes d'huile sur la plaque réceptrice. Éliminer les deux premiers centimètres de pâte.

-Lorsque la bande de pâte extraite a atteint le niveau des encoches de la plaque, découper la pâte sur la plaque de laminage, préalablement huilée.

-Répéter quatre fois l'opération, pour obtenir aux totaux cinq pâtons.

-Placer immédiatement chaque éprouvette extraite et laminée dans l'enceinte isotherme (25°C) de l'alvéographe.

Le pâton se gonfle et forme une bulle qui éclate lorsque la limite d'élasticité est atteinte. On obtient donc une courbe d'alvéogramme, à partir de laquelle on définit les caractéristiques suivantes :

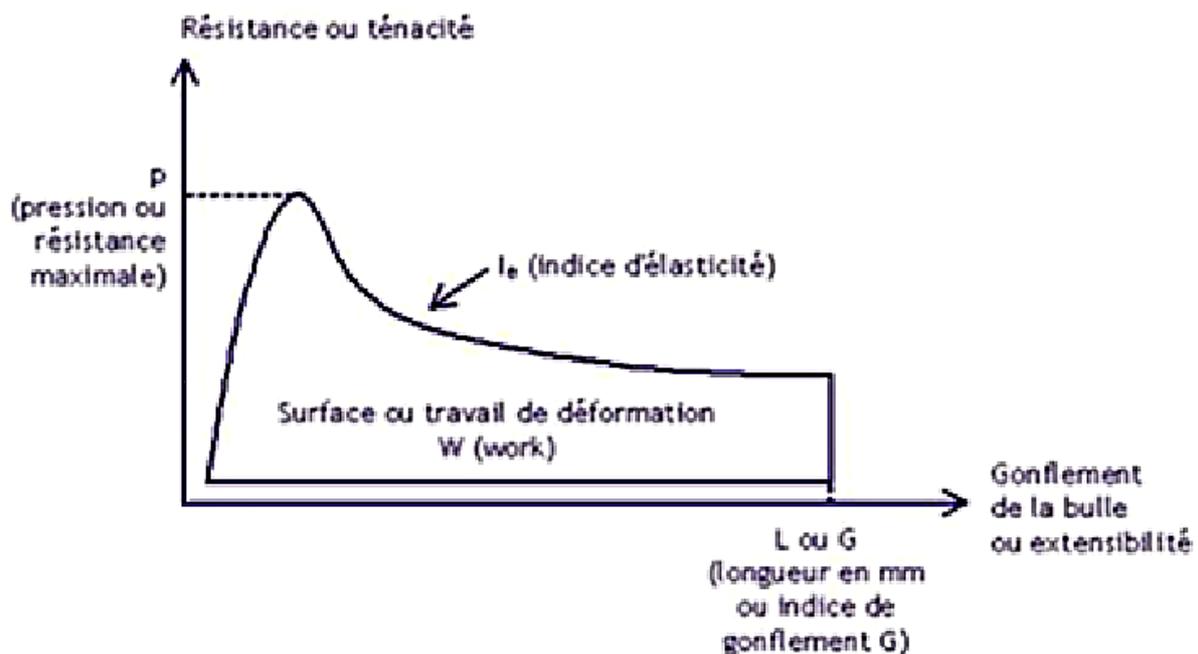


Figure 4: Alvéogramme (Roussel *et al*, 2005).

Expression des résultats :

L'analyse de l'alvéogramme, permet de calculer les paramètres caractéristiques suivants :

- La pression P, égale à la moyenne des pressions maximales atteintes au cours de l'essai. Elle rend compte de la ténacité de la pâte et de sa résistance à la déformation.

Matériel et méthodes

- Le gonflement G , égale à la racine carrée du volume d'air (ml) insufflé jusqu'à la rupture de la bulle. $G = 2.226 \times \sqrt{\text{racine de } L}$, où L est la longueur ou l'allongement exprimée en mm sur l'extensibilité de la pâte. Ces deux paramètres renseignent sur l'extensibilité de la pâte.
- Le travail W par gramme de pâte nécessaire pour développer la bulle jusqu'à sa rupture, égale au produit par 6.54 de la surface (cm^2) comprise entre la courbe moyenne et l'abscisse ; il est assimilé à la force boulangère.
- Le rapport P/L , indicateur de l'équilibre général de l'alvéogramme.
- Le rapport $l_e : P_2/P_5$ (avec P_2 et P_5 respectivement égaux à la pression mesurée pour un volume de bulle de 200ml, soit $L=40\text{mm}$, et la pression maximum), rendrait compte de l'élasticité de la pâte.

2.3.2- L'indice de chute d'Hagberg (AFNOR NF 03-703/1997)

Principe : L'indice de chute est le temps total que met un pénétromètre pour descendre sous l'effet de son propre poids, d'une distance fixée, dans un empois d'amidon.

Cette méthode repose sur la mesure de la viscosité d'un empois d'amidon formé par la gélatinisation d'une suspension aqueuse de la farine placée dans un bain d'eau bouillante.

L'évolution de sa viscosité, liée à l'activité des enzymes, est appréciée par le temps mis par un agitateur viscosimétrique pour traverser la préparation sous l'effet de son propre poids.

Préparation :

- L'eau distillée du bain- marie doit bouillir vigoureusement pendant la durée du teste. Vérifier régulièrement (au moins une fois par jour) le niveau de l'eau dans la cuve et la circulation de l'eau de refroidissement. Positionner la cassette sur le support et placer un tube viscosimétrique propre et sec dans la cassette.
- Peser une prise d'essai de $7,00 \text{ g} \pm 0,05 \text{ g}$ de farine ou de mouture intégrale de teneur en eau 15%. Adapter le poids de la prise d'essai si la teneur en eau est différente de 15% selon l'annexe. Transférer la prise d'essai dans le tube viscosimétrique à l'aide de l'entonnoir. Ajouter 25 ml d'eau distillé (ou d'eau de qualité ISO 3696, "grade3") à $22 \pm 2^\circ\text{C}$ dans le tube viscosimétrique propre et sec.
- Fermer le tube par un bouchon propre et sec et secouer le tube vigoureusement 40 ± 10 fois ou plus, de façon à obtenir une suspension homogène. Vérifier qu'une partie de l'échantillon n'adhère pas au fond du tube. Enlever le bouchon et récupérer la

Matériel et méthodes

suspension qui y adhère en le frottant sur le col du tube. À l'aide d'un agitateur, réincorpore à la suspension les particules qui adhèrent à la paroi interne de tube.

- Positionner le tube dans la cassette et introduire la cassette et le tube dans l'orifice du couvercle du bain-marie dans les 40+/-10 secondes qui suivent l'agitation du tube.
- Basculer la Tour vers l'avant immédiatement après introduction du tube dans le bain-marie. Le test démarre automatiquement.

Expression des résultats : L'indice de chute d'Hagberg s'exprime en seconde.

2.3.3- Teneur en gluten (méthode de kiger et kiger 1967)

Principe : le gluten est extrait par simple lessivage manuel sous un mince filet d'eau de robinet. Le gluten obtenu est comprimé entre les paumes de la main afin d'éliminer toute traces d'eau.

Mode opératoire : 10g de farine est mouillé avec 5 ml d'eau salée à 2,5%. Après un repos de 15mn, la pâte est malaxée dans la main sous un filet d'eau continu pour transformer en pâton. Lorsque l'eau de lavage devient claire, le gluten est essoré en le comprimant fortement entre les paumes des deux mains. A ce moment le gluten humide est pesé. Le gluten sec, est obtenu après séchage de pâton dans une étuve à 102°C pendant environ 18 heures. Ensuite calculer la capacité d'hydratation du gluten.

Expression des résultats :

-La teneur en gluten humide s'exprime comme suit :

$$GH\% = \frac{PGH \times 100}{10} \times \frac{100}{100 - H\%}$$

GH: gluten humide.

PGH: poids du gluten humide.

-La teneur en gluten sec s'exprime comme suit :

$$GS\% = \frac{PGS \times 100}{10} \times \frac{100}{100 - H\%}$$

GS: gluten sec.

PGS: poids du gluten sec

-Le coefficient d'hydratation s'exprime comme suit:

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

2.4- Test de panification

Le principe : Le test de panification a été réalisé dans une boulangerie artisanale selon la méthode **NFV 03-716**. Elle se déroule selon un processus rigoureusement établi.

- On utilise au minimum une quantité de farine permettant de fabriquer 8 pâtons de 350g.
- On mesure la température de la farine et du fournil, afin de déterminer la température de l'eau de coulage.
- On fabrique une pâte bâtarde, avec une hydratation d'au moins 60%, contenant 2,5 % de levure et 2,2% sel. Le sel est ajouté 5 minutes avant la fin du pétrissage.
- Le pétrissage intensif : exactement 4 minutes en 1^{ère} vitesse (frassage), puis exactement 15 minutes en 2^{ème} vitesse.
- La température de pâte doit être de 25°C (plus ou moins un degré).
- Le pointage dure 20 minutes, à une température de 27°C (plus ou moins 2°C), à une hygrométrie minimale de 60%.
- On donne 3 coupes de lame obliques.
- On enfourne aussitôt dans un four préalablement réglé à 250°C (plus ou moins 10°C). les pains sont répartis de façon précise et ordonnée sur la sole.
- On laisse ressuer une heure.
- On mesure le volume et la masse des pains.

Résultats et discussion

II. Résultats et discussion

1-Qualité physicochimiques des farines

Les résultats d'analyses physicochimiques des farines sont consignés dans le tableau VI.

Tableau VI: Résultats d'analyses physicochimiques des farines.

Echantillons Paramètres	F1 (0%)	F2 (6%)	F3 (10%)	F4 (15%)
Granulométrie(%)	89%	92%	86%	80%
Humidité(%)	14.50	14.49	14.45	14.42
Cendres (%ms)	0.51	0.75	0.81	0.86
SDS (ml)	75	64	60	58

1.1-Granulométrie

La granulométrie d'une farine permet de caractériser la répartition en taille et en nombre des particules dont elle est composée. Elle est grandement influencée par le comportement du blé au cours de la mouture, notamment la vitesse d'hydratation, les caractéristiques des blés (friabilité) ainsi que le réglage du moulin (Feillet, 2000 ; Melcion, 2000).

En boulangerie, la quantité d'eau absorbée ainsi que sa vitesse d'absorption lors de la formation de la pâte sont en fonction de la finesse des particules constitutives de la farine (Godon et Loisel, 1997). Notre farine témoin présente un taux d'affleurement de 2%, elle est donc conforme à la norme (Afnor- 1982) qui exige un taux de refus de 2%.

Nous constatons aussi qu'au fur et à mesure que nous augmentons le taux d'incorporation du son et du germe, le taux de refus augmente jusqu'à 20% pour la farine incorporée à 15% du son et du germe. Ceci s'explique par l'impasse des particules du son et du germe à travers le tamis. Actuellement, le son est incorporé dans les farines sous forme micro atomisée.

1.2 – Teneur en eau

D'après Multin et Martin cités par Godon (1984), la mesure de la teneur en eau des céréales est une opération capitale qui présente trois intérêts principaux :

-Intérêt technologique : pour la conduite des opérations de stockage ou de transformation industrielle.

Résultats et discussion

- Intérêt analytique : pour rapporter les résultats des analyses à une base fixe (matière sèche)
- Intérêt réglementaire et intérêt commercial : les contrats commerciaux et les normes réglementaires à partir des bonifications et des réfractions.

La connaissance de la teneur en eau des farines est déterminante pour leur bonne conservation en raison de leur hygroscopicité, où il est nécessaire de l'abaisser jusqu'à 14 % ou 12% voir 7% selon les utilisations (Colas, 1991). En outre, plus la teneur en eau de la farine est faible, plus il est possible de l'hydrater au pétrissage pour arriver à une consistance optimale de la pâte.

Selon la norme algérienne (1991), la teneur en eau d'une farine de panification doit être inférieure à 15,5%. La teneur en eau de nos différents échantillons de farines est comprise entre 14,42 % et 14,50% de la matière sèche ce qui permet de conclure leur bonne conservation.

En tenant compte de cette norme, les résultats obtenus sont dans la fourchette des limites de tolérance de la législation en vigueur. La détermination de la teneur en eau conditionne la précision et La régulation du taux d'hydratation de la pâte lors de la panification.

L'addition mixte de son et de germe, à des proportions différentes influe faiblement sur la teneur en eau des farines, plus il y a du son et du germe plus le taux d'humidité baisse ceci est dû au faible pourcentage d'humidité du son et du germe.

1.3 – Teneur en matière minérale

La teneur en cendres est un indicateur de la pureté de la farine. Elle est en relation avec son taux d'extraction et la minéralisation des grains mis en mouture (Colas, 1991 ; Feuillet, 2000).

Godon (1978), indique que le taux de cendres d'un blé dépend de plusieurs facteurs dont : les facteurs génétiques, les facteurs pédologiques accordés à la nature du sol, la disponibilité des minéraux au niveau du sol, les facteurs climatiques essentiellement l'ensoleillement et l'humidité, les facteurs physiologiques tels que l'état de maturation de blé à la récolte, et enfin les traitements technologiques, principalement le type de conditionnement avant mouture et le taux d'extraction.

Selon Roussel (2002), la détermination de la teneur en matières minérales de la farine permet, d'une part, de savoir si cette farine est riche ou non en enveloppes, et de préjuger de la blancheur, et permet d'autre part de savoir son importance d'un point de vue nutritionnel.

Résultats et discussion

Chene (2001), rapporte que plus le taux d'extraction est élevé, plus la farine a de la saveur et plus elle contient d'éléments nutritifs. La norme algérienne (1991), classe les teneurs en cendres des farines panifiables dans un intervalle de 0.60% à 0.75% par rapport à la matière sèche.

Notre farine présente un taux de cendre de 0.50 % par rapport à la matière sèche, qui est inférieure à cette norme. Selon la classification commerciale des farines françaises, les farines destinées à la panification et qui sont de type 55, doivent avoir un taux de cendres compris entre 0.50% et 0.60% (Brulé *et al.*, 2007). Cela veut dire que notre farine se range bien dans cette intervalle et elle est de type 55. Le tableau VI, révèle que le taux de cendres croît avec l'incorporation du son et du germe, cela s'explique par le fait que les cendres sont contenues principalement dans les sons.

1.4-Test de sédimentation SDS

Le SDS est un test qui a pour objet de donner une indication générale sur la qualité du gluten, il classe les blés selon l'aptitude boulangère et caractérise la qualité des protéines et leur pouvoir de gonflement (Godon *et al.* 1998). Dans notre farine, Les résultats obtenus, montrent des valeurs qui varient entre 58 et 75ml. Pour la farine non incorporée, le test SDS révèle des hauteurs de sédimentation élevées, témoin de la très bonne qualité des protéines de réserve. Cependant l'incorporation du son et du germe influe sur le pouvoir d'hydratation des protéines.

2-Qualité technologiques des farines

L'ensemble des résultats des analyses technologiques sont établies dans le tableau 7

2.1- Alvéographe

L'alvéographe fournit des paramètres qui caractérisent les pâtes (la ténacité l'extensibilité, l'élasticité et la force boulangère).

Ces caractéristiques sont liées à la composition biochimique, la teneur en eau et la granulométrie du produit (Branlard et Loisel, 1997). Selon Doré (2006), les propriétés rhéologiques de la pâte sont fortement influencées par les protéines de réserve de l'albumen. Les résultats de l'analyse des paramètres alvéographiques sont calculés de l'alvéogramme, (tableau VII).

Résultats et discussion

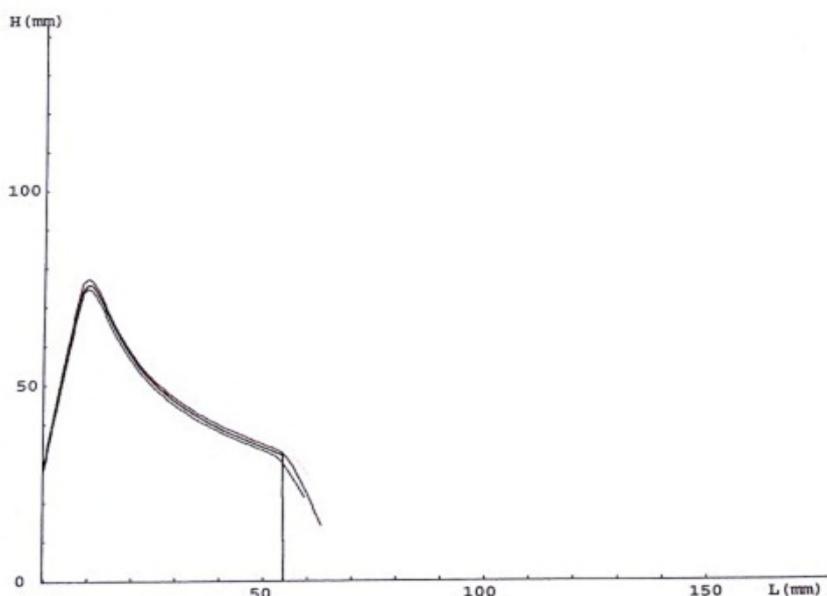


Figure 5: Alvéogramme de la farine témoin F1 (100%).

Tableau VII : Paramètres alvéographiques de la farine témoin.

Paramètres	G (cm ³)	P (mm)	W (10 ⁴ J)	P/L	Ie%
Farine témoinF1	16.5	83	173	1.51	52.6

D'après Calvel(1984), dans l'interprétation d'un alvéogramme. Il est nécessaire de prendre en compte en plus de (W), toutes les caractéristiques (P, G, L et P/L).

2.1.1- L'indice de gonflement G ou la longueur L

L'indice de gonflement est un critère de qualité des farines (Colas, 1991). Il donne une bonne mesure de l'extensibilité de la pâte avant rupture (Cheftel.C et Chaftel H, 1992), et peut prédire le développement de la pâte en fermentation (Colas, 1997).

Selon Renard et Thery (1998), cet indice dépend principalement du taux de gliadine. Les mêmes auteurs ont rapporté que les pentosanes insolubles, constituent une fraction biochimique qui joue un rôle mineur mais significatif sur ce paramètre alvéographique.

Pour Roussel et Hubert(2002), la farine idéale en boulangerie doit avoir un gonflement compris entre 22 et 24 cm³. D'autre part, la norme algérienne, exige un indice de gonflement supérieur à 20 cm³.

A la lumière des résultats consignés dans l'alvéogramme, on constate que la farine témoin présente un gonflement de 16,5cm³ qui est inférieur à 20cm³ recommandé par la

Résultats et discussion

norme algérienne. Cheftel et Chaftef (1992), rapportent qu'un indice de gonflement inférieur à 20 cm³ donne des pains peu développés.

2.1.2- La ténacité (P)

Elle dépend entre autres de la consistance ou de la viscosité de la pâte qui influencée par les éléments fixateurs d'eau à savoir les protéines, l'amidon, l'hémicellulose (Danklou, 2005).

Selon Bourdeau et Menard (1992), cela est en relation avec leur poids moléculaire, leur structure et l'allongement des liaisons disulfures sous l'action mécanique du pétrissage.

Selon Roussel et al (2006), une valeur de P comprise entre 60 et 80 mm indique une bonne ténacité de la pâte. Au-delà de cette valeur (supérieur à 80mm) elle est très élevée (farine très tenace) et au dessous (entre 40 et 60 mm) elle est insuffisante (farine de faible ténacité).

En comparant le résultat qui est de 83 mm à cette fourchette, on peut dire que la farine témoin est une farine à ténacité légèrement élevée.

Selon Brulé *et al* (2007), la forte ténacité peut être attribuée à un excès de gluténines. Cependant, Godon et Loisel (1997), soulignent que les valeurs élevées de la ténacité P peuvent être associées à des proportions élevées en amidon endommagé et en pentosanes. Ces macromolécules sont des fixateurs d'eau (hygroscopique), entrent en compétition avec le gluten pour l'absorption d'eau, le gluten se retrouve insuffisamment hydraté et mal développé, par conséquent donne des pâtes à forte ténacité (Cheftel et Cheftel, 1992).

2.1.3- La force boulangère W

La force boulangère est la surface de l'alvéogramme. Elle renseigne sur le travail nécessaire pour déformer la bulle de la pâte jusqu'à sa rupture. Bourdeau et Menard (1992), estiment que le travail de déformation de la pâte peut être considéré comme le model de ce qui se passe en boulangerie, lors de la formation des alvéoles sous l'action du gaz carbonique au cours de la fermentation panaire. Selon Calvel (1984), le travail de déformation est essentiellement lié à la teneur globale en protéines. La force boulangère est corrélée positivement à la teneur en gluténines des grains de blés. La norme algérienne exige une force boulangère variant entre 130 et 180 x 10⁻⁴ joules. Par contre, les valeurs caractéristiques de la force boulangère d'après la norme AFNOR V03-710 sont :

W < 130 : farine de très faible qualité boulangère ;

130 < W < 160 : pour une farine de bonne qualité boulangère ;

160 < W < 250 : pour une farine de très bonne qualité boulangère ;

Résultats et discussion

$W > 250$: pour une farine issue de blé de force.

Les résultats des analyses montrent que notre farine présente une force boulangère de 173×10^{-4} joules, qui se situent dans les limites fixés par la norme algérienne à savoir 130 à 180×10^{-4} J pour des farines panifiables, on conclut que c'est une farine de très bonne qualité boulangère.

2.1.4- Le rapport d'équilibre P/L

C'est le rapport entre la ténacité et l'extensibilité. Il traduit l'équilibre du diagramme (Colas, 1991).

Selon Del frate et Stephan (2005), il est possible de préjuger de la ténacité et l'extensibilité d'une farine, car plus le rapport de configuration P/L est élevé (supérieur à 1), plus la farine sera tenace, par contre si ce rapport est faible (inférieur à 0,3) cela donne des pâtes qui auront une très grande extensibilité.

La norme algérienne fixe un rapport P/L variant entre 0,45 et 0,65 pour les farines panifiable et Feillet (2000) préconise un P/L compris entre 0,5 et 0,8.

Brulé et al (2007), le rapport P/L est en fonction de celui des gluténines /gliadines qui est de 0,3 pour une valeur boulangère. Il indique que : « Lorsqu'une farine contient un excès de gliadines, elle donne une pâte douce qui se développe bien à la fermentation, mais qui s'affaisse sous l'action de la chaleur au four. Si au contraire, la farine contient un excès de gluténines, le manque d'extensibilité du gluten fait que la pression gazeuse n'est pas capable de l'allonger et que la pâte augmente fort peu de volume pendant le travail du levain ou de la levure ».

En se référant à ces fourchettes, on remarque que la farine témoin présente un rapport P/L égale à 1.51 qui est supérieur à 0,8, ce qui se traduit par un excès de la résistance de la pâte. De telles farines présentant une forte ténacité, faible gonflement, un rapport P/L supérieur à 1, laissent présager que les pâtes présenteront un faible volume, d'où la nécessité d'augmenter l'apport en eau, et éventuellement une amélioration des farines (pentosananes), Alors que pour des « P/L » faible (inférieur à 0,3) les pâtes seront trop extensibles et difficiles à manier.(Danklou, 2005).

2.1.5- L'indice d'élasticité I e

L'indice d'élasticité traduirait le caractère élastique de la pâte (Kitissou, 1995). Selon Dankou (2005), l'IE met en évidence les variations de chute de la courbe. FEILLET (2000), préconise un IE compris entre 0,25 et 0,75 pour les farines de panification. Il ajoute que, plus le rapport P_{200} / P_{max} est élevé, plus l'élasticité de la pâte est forte.

Résultats et discussion

En effet, lorsque la baisse de la pression est très rapide, l'indice de chute prend une valeur faible, la pâte est donc peu élastique. En revanche, quand l'Ie est important, une insuffisance d'extensibilité s'en suit, insuffisance qui retarde le lissage de la pâte et réduit l'allongement au façonnage. L'indice d'élasticité de la farine témoin est de 51.6 %, on conclut qu'il entre dans l'intervalle fixé par Feillet (2000).

La prise en considération de toutes les données alvéographiques permettent de conclure que la farine témoin se prête à la panification.

2.2- Teneur en gluten (le gluten humide et le gluten sec)

Le gluten rend la farine panifiable en formant une structure élastique. Par ses propriétés viscoélastiques, on attribue à ce groupe de protéines l'essentiel des propriétés de panification (extensibilité et élasticité) (Gallais et Bannerot, 1992).

Le gluten humide représente la masse plastique issue lors de lixiviation sous l'eau qui est placé dans une étuve pendant 1h30 à 130C° pour la dessiccation.

La mesure de la teneur en gluten humide et gluten sec des farines est un moyen d'appréciation de la teneur en protéine insolubles et de leur qualité élastique. Il permet de prévoir certaines caractéristiques rhéologiques des pâtes. Le gluten hydraté confère à la pâte son imperméabilité et ses caractéristiques viscoélastiques, ténacité, élasticité et extensibilité (Roussel, *et al* 2006).

Selon Del frade (2005), la teneur d'une farine en gluten humide varie entre 24 % et 30 %, et celle du gluten sec entre 8 à 10. Les teneurs en gluten sec pour les farines F1, F2, F3, F4 sont respectivement 9% 9.47%, 7.94% et 7.71% demeurent dans les normes en gluten sec d'une farine panifiable.

On constate une diminution de la quantité du gluten extractible, cela provient de perte de farine lors des opérations d'extractions causées par l'ajout du son et du germe.

Le coefficient d'hydratation représente le pourcentage d'eau contenue dans le gluten humide, il nous donne une indication sur la capacité du gluten à retenir l'eau. La capacité d'hydratation est en relation avec la qualité de la farine. Elle correspond à la quantité d'eau à ajouter, qui est comprise entre 62% et 65%. Cela explique que nous farines sont conformes aux normes.

2.3- Indice de chute d'Hagberg

L'indice de chute est un des critères qui servent à sélectionner les lots de blé destinés à la panification. Sa mesure repose sur la gélification de l'amidon contenu dans la farine, lorsque celle-ci est mise en suspension dans l'eau bouillante donnant ainsi un milieu visqueux

Résultats et discussion

(l'emploi 'amidon). Selon Motquin (2007), plus l'activité amylasique augmente (cas de blé germé), plus le gel est liquéfié et la viscosité diminue, ce qui se traduit par une réduction du temps de chute. Par contre, si l'activité amylasique est faible, la viscosité augmente et le temps de chute sera long.

Pour, Pomranz(1985), l'activité amylasique a un intérêt capital en panification et répercute de façon significative sur la qualité du pain à savoir, l'aspect de la mie, la couleur de la croûte et le dégagement gazeux. Cependant, au-delà d'un certain seuil, la pâte acquiert un caractère collant, et la croûte une coloration excessive, tout en affaiblissant sa consistance. Ainsi, Brulé *et al* (2007), indiquent qu'une faible activité amylasique de la farine ralentit le processus et les pains seront moins développés.

Mais l'activité enzymatique a aussi une importance sur les caractéristiques de pâtes obtenues. Si le temps de chute est très court (forte activité enzymatique), les pâtes sont collantes, le pain obtenu a tendance à se déchirer ou à manquer de tenue, ou encore présenter une croûte très colorée ; la farine est hyperdiastasique. A l'inverse, un temps de chute élevé (supérieur à 400 sec) révèle une grande présence d'amidon, donc une fermentation plus longue, le pain obtenu présente un développement insuffisant et une mie très pâle ; la farine est qualifiée d'hypodiastasique

. La norme algérienne exige un indice de chute compris entre 180 et 280 secondes pour les farines panifiables.

Les résultats de notre analyses montre que les indices de chute de nos farines varies entre F1 et F4 respectivement 328 s à 305 s, sont supérieurs et admis dans la méthode du « Falling Number », restent conformes aux normes optimales pour la panification (200 à 300) rapportés par Godon et Loisel (1997).

Pour ces derniers une activité enzymatique optimale correspond à un indice de chute entre 200 et 300 seconde est primordiale pour l'obtention d'un pain de volume élevé et de mie homogène et appréciable. Cependant une présence excessive ou insuffisante de l'alpha amylase engendre la détérioration de la qualité boulangère.

On remarquera la baisse de l'activité amylasique au fur et à mesure de l'incorporation du son et du germe, cette baisse explique les enzymes permettent d'hydrolyser l'amidon.

Résultats et discussion

Tableau VIII : Résultats des analyses technologiques des farines.

Paramètres Echantillons	Indice de chute(s)	Gluten humide(%)	Gluten sec (%)	Coefficient d'hydratation
F1 (0%)	328 s	22,1	9	59
F2 (6%)	335 s	21,4	9,47	55,75
F3 (10%)	317 s	20,34	7,94	60,9
F4 (15%)	305 s	18,69	7,71	58,7

3. Test de panification

Un beau pain, est toujours régulièrement développé sur toute sa longueur et léger, la croûte est lisse, dorée et bien adhérente à la mie. Les coups de lame sont réguliers avec des jets bien renflés. La mie de couleur blanche, fine, souple et bien aérée, quand la cuisson est parfaite, la croûte est croustillante, l'odeur douce et la saveur agréable.

L'essai de panification permet d'apprécier l'aptitude d'une farine à se transformer en pain de bonne qualité (Feillet, 2000).

La qualité du pain est le résultat de l'évolution structurelle que subit la pâte durant les différentes étapes de la panification, et qui sera stabilisé au cours de la cuisson. Cette qualité se repose essentiellement sur le volume spécifique du pain et la structure alvéolaire de la mie.

L'alvéolage de la mie est le résultat d'une organisation supramoléculaire bien défini des constituants de la farine au sein de la pâte. Cette organisation est indispensable pour former et stabiliser les alvéoles gazeuses durant les étapes de la panification. Les caractéristiques de la mie à savoir, la taille et la distribution des alvéoles, l'épaisseur de leurs parois, sont aussi utilisées comme un critère de choix des produits de la panification (Feillet, 2000).

La forme des alvéoles est une caractéristique importante de la qualité, le volume et la forme finale du pain, la structure aérée de pain est principalement développée au cours de la fermentation par l'expansion de vide formé par l'aire piégé au cours du pétrissage en même

Résultats et discussion

temps que la formation du réseau de gluten. La taille des alvéoles est principalement dépendante du type de pétrissage et de l'absorption d'énergie, dans lequel prend également compte la rhéologie. Dans ce travail, nous avons mesuré les volumes spécifiques des pains issus des quatre farines étudiées et nous avons caractérisé leurs mies, et ce du point de vue structurel, dans le but d'établir une classification de ces farines par des techniques conventionnelles.

D'après le tableau IX, illustré par les figures de 6- 9, l'aspect extérieur des pain diffère selon la composition de la farine utilisé pour son obtention, le pain fabriqué à partir de la farine témoin présente des caractéristiques semblables à celles des pain obtenus avec les farines commercialisées destinée à la boulangerie, la croûte est de couleur rouge clair et de nature croustillante, les coups de lames qui témoignent du bon développement sont bien jetés et réguliers. Les pains issus des autres échantillons de farines présentent un aspect extérieur de marron qui s'accroît avec l'ajout mixte du son et du germe aux farines.

Selon Levavasseur (2007), les pains qui rougissent et se colorent rapidement sont issus de farine à taux d'extraction élevé, riche en sucres et en diastases. Les coups de lame sont réguliers pour l'ensemble des échantillons. Quant à la mie de ces pains, elle est assez aérée pour la baguette de farine témoin et les autres échantillons.

La couleur de la mie est blanche pour le pain issu de farine témoin, légèrement crème pour le pain issu de farine à 6%, crème pour le pain issu de farine à 10% et enfin brune pour le pain issu de farine à 15%. Cette coloration est due à la présence de pigments notamment caroténoïdes présents en grandes quantités dans les enveloppes du grain, un pétrissage intensif pourrait diminuer la coloration avec l'oxydation de ces pigments (Levavasseur, 2006).

Pour le poids et le volume du pain après cuisson, nos pains diminuent au fur et à mesure que nous augmentons le taux d'incorporation du son et du germe.

Le volume spécifique C'est le critère le plus important pour l'appréciation de la qualité du produit fini. Il donne des renseignements sur la capacité de rétention gazeuse d'une pâte, qui est proportionnelle au volume final du pain.

Les résultats obtenus montrent des différences significatives entre les volumes spécifiques des quatre échantillons, où le pain à base de farine témoin présente le meilleur volume spécifique de 2.65 cm³/g. quant aux autres pains des autres farines, on remarque un abaissement au fur et à mesure de l'augmentation de l'ajout de son et de germe. Le germe de blé, parce qu'il contient beaucoup de matières grasses peut modifier le goût du pain, en effet les lipides qu'il contient se dégradent pour former les composés volatiles responsables de

Résultats et discussion

l'arome de certains pain riche en germe .Plus la farine contient de particules de son plus le pain aura un goût et une couleur caractéristique typique du son (Seyer, 2005).

Tableau IX : Caractéristiques du pain

Critères		Observation			
		F1 (0%)	F2 (6%)	F3 (10%)	F4 (15%)
Aspect extérieur	Couleur de croûte	Rouge	Rouge	Marron	Marron
	Coups de lame	Régulier	Régulier	Régulier	Régulier
	Nature de la croûte	Croustillante	Croustillante	Croustillante	Croustillante
Aspect de la mie	Couleur	Blanche	Crème	Plus crème	Brune
	Texture	Aérée	Aérée	Aérée	Serrée
Volume du pain (cm ³)		550	475	400	325
Poids du pain (g)		201	196	195	186
Volume spécifique du pain (cm ³ /g)		2,65	2,56	2,01	1,76

Résultats et discussion



Figure 6 : Pain de farine F1 (0%)



Figure 7 : Pain de farine F2 (6%)



Figure 8 : Pain de farine F3 (10%)



Figure 9 : Pain de farine F4 (15%)

Conclusion générale

Conclusion générale

L'objectif de ce travail est de réaliser une baguette diététique, enrichie en son et en germe. Pour cela nous avons élaboré une série de quatre échantillons avec des pourcentages variés en son et germe pour étudier leurs influences sur la qualité technologique, physicochimique, et sur l'aspect des pains.

Au terme de ces analyses, nous avons constaté des variations positives des paramètres physicochimiques, comme les teneurs en sels minéraux au fur et à mesure de l'incorporation du son et du germe, ce qui se traduirait par l'amélioration de la qualité nutritive de la farine. Les résultats du test de panification indiquent par ailleurs que plus la teneur en son et en germe augmente, des changements dans les pains se manifestent.

Nous observons un développement insuffisant des pains à teneur élevée en son et en germe, avec une texture de la mie serrée et un aspect extérieur pâle et une croûte dure.

Le son et le germe exercent des effets négatifs sur le volume final du pain. En effet, l'eau ajouté n'est pas totalement utilisée par le gluten pour se développer dans la pâte, mais une partie se trouvent piégée par les fibres de son et de germe, entraînant une diminution du volume du pain.

En conclusion, nous pouvons dire qu'un mélange Son + Germe dans les proportions suivantes (10% son, 5% germe), semble donner des résultats très exploitables par la boulangerie pour la production de pain aux vertus diététiques tout en préservant les caractéristiques qualitatives de la baguette à pain.

Références bibliographiques

Alais C, Linden G, et Miclo L. 2003. Biochimie des principaux aliments : les céréales. Le pain. 3^{ème} édition Masson paris, 95.

Antoine C, Lullein P, Abecassis J et Rouaux . 2002.Intérêt nutritionnel de la couche à aleurone du grain de blé sciences des aliments, 22, 545-556.

Barnes P.J. 1983. Cereals Tocophérols. *Proc.7th world Cereal and Bread Congress,Prague.*

Bernard A, Carlier H. 1992. Aspects nutritionnels des constituants des aliments, influence des technologies, pp 4-5.

Bolte L.C, Finney K.F, 1977. Note on small-scale laboratory equipment for separating germ for wheat. *Cereal Chem.* 54 (2): 306-310.

Bourdeau A, et Menard B. (1992). Le Blé : éléments fondamentaux et transformation. Édition : sainte-foy, québec : presses de l'université Laval, 35-39.

Branlard G et Loisel W. 1997. Test de Laboratoire ; In « Guide Pratique d'Analyses dans les Industries des Céréales ». Collection Science Supplément Technique I.N.B.P. N° 58. Sommaire. Editeur : S.O.T.A.L. [www. Cannelle.com](http://www.Cannelle.com)

Brulé G, Jeantett R,Shuk P. et Croguennec T. 2007. Sciences des aliments, technologie des produits alimentaires, tome 2, Lavoisier, paris, 137-180.

Cabrol C. 2006. Pain et nutrition, conception et rédaction : option valley, 1^{ère} édition,80p.

Calvel R. 1984. La Boulangerie Moderne, Edition EYROLLES, Paris, 11-78, 411-420.

Chaplin M. (2004). Water Structure and Behavior.London South Bank University. London, Angleterre.

Chargeleque A, Guinet R, Neyreneuf O, onno B et Poitrenaud B, 1994.La fermentation. In « Panification Française » collection science et technique. Agrosience alimentaire. Ed Tec & Doc. 204-221

Cheftel J-C, et Chaftel H. 1992.Introduction à la biochimie et à la technologie des aliments (volume 1). Ed tec & doc. Lavoisier, paris, 381p.

Cheftel J.C, Cheftel H ; 1976 .Introduction à la biochimie et à la technologie des aliments, volume 1, pp: 108-119.

Chene C. 2001. La Farine, journal de l'Adriano, agro-jonction.

Colas A. 1997. Dosage des cendres et matières minérales; in " guide pratique d'analyses dans les industries des céréales". Collection sciences et techniques agroalimentaire, 2^{ème} édition, tec & doc, Lavoisier, paris, 42-60.

Colas A, 1991 . Qualité des farines. In "Industries de première transformation des céréales". Edition Tec & Doc, Lavoisier, paris.

Dacosta Y. 1986. Le Gluten de blé et ses applications. Ed tec & doc ; APRIA, paris, 1-63.

Danklou. 2005. Nouvelle récolte de blé suivi des tests de panification et formulation enzymatiques. Rapport de stage. Isa groupe.

Del Frate R. et Stephan C. 2005. Mieux Connaitre La Farine : Spéciale Analyses, Les Nouvelles De La Boulangerie Pâtisserie. Supplément Technique INPB n° 85. Ed . SOTAL.

Doré C. et Varquaux F. 2006. Histoire et amélioration de cinquante plantes cultivées. Édition des quae, 812p.

Dunford N.T, 2005. Bailey's industrial oil and fat products, sixth edition, six volumes. Edited by fereidoonshahidi. copyright john wiley & sons, inc.

Fatma L. A, Amr A.R., Abdel Rahman M. A, 2010. Additional effect of defatted wheat germ protein isolate on nutritional value and functional properties of yogurts and biscuits. *australian journal of basic and applied sciences*, 4(8): 3139-3147.

Feillet P. 2000. Grain de blé : composition et utilisation édition INRA ; institut national de recherche agronomique, paris, 308p.

Frédot E. 2005. Connaissance des aliments ; base alimentaires et nutritionnelles de la diététique : les produits céréaliers. Édition, tec & doc, Lavoisier, paris.

Gallais A. et Bannerot H. 1992. Amélioration des espèces végétales cultivées: objectifs et critères de sélections, ED INRA, France, 768p.

Godon B, 1991. Composition biochimique des céréales. In « les industries de première transformation des céréales ». Ed. Tec et doc, Lavoisier, paris, 77-94.

Godon B. 1991. Biotransformation des produits céréaliers. Collection Sciences Et Techniques Agroalimentaire. Tec Et Doc, Lavoisier. Paris, 4-30.

Godon B. et Guine C. 1994. La Panification française. Collection science et technique, agroalimentaire. Ed. Tec & doc, Lavoisier. APIRA, paris.

- Godon B. 1984.** Guide pratique d'analyse dans les industries des céréales APRIA.
- Godon B et Loisel W. 1997.** Analyses technologiques. In "guide pratique d'analyse dans les industries des céréales". Collection sciences et technique. Agro-alimentaire, 2^{ème} édition, tec & doc, Lavoisier, APRIA, Paris.
- Godon B, 1978.** Matières minérales du grain de blé et la farine. *bull.e.n.s.m.i.c* n° 283.
- Hassan H.M.M, Afify A.S, Basyiony A.E, Ahmed Ghada T. 2010.** Nutritional and functional properties of defatted wheat protein isolates. *australian journal of basic and applied sciences*, 4(2): 348-358.
- Hemery Y, Rouau X, Lullien-Pellerin V, Barron C, Abecassis J. 2007.** Dry processes to develop wheat fractions and products with enhanced nutritional quality. *Journal of Cereal Science-ELSIEVIER*, 327-347.
- Howard B.M, Hung Y.C, 2011.** Analysis of Ingredient Functionality and Formulation Optimization of Pasta Supplemented with Peanut Flour. *Journal of Food Science*. Vol. 76, Nr.1.
- Jeantet R, Croguennec T, Schuck et Brulé G .2007.** Du blé au pain et aux pâtes alimentaires. In « science des aliments biochimie, microbiologie, procédés, produits ». Vol 2 : technologie des produits alimentaires. Édition tec & doc, Lavoisier. Paris.
- Kiger J.L, Kiger J.G. 1967.** Techniques modernes de biscuiterie, pâtisserie, boulangerie Industrielle et artisanale et les produits de régime. *Edition, DUNO. Paris*. 676 pages.
- Kitissou P. 1995.** Un nouveau paramètre alvéographique: indice d'élasticité (Ie). *Ind. Céréales: Avril/Mai/Juin*: 9-17.
- Kumar P, Yadavar.K, Gollen B, Kumar S, Verma R.K, Yadav S. 2011.** Nutritional contents and medicinal properties of wheat. *life sciences and medicine research*, lsmr-22.
- Levavasseur L. 2007.** Suivi simultané de la consommation d'oxygène et de la consistance des pâtes de farine de blé à l'aide d'un pétrin instrumenté (le sitoxygraphe): tentative d'explication biochimique et rhéologique. Application à l'ajout de LACCASES. Thèse de Doctorat, Science alimentaire. Ecole Doctorale ABIES. Agro, Paris-Tec.
- Megahed M.G. 2011.** Study on stability of wheat germ oil and lipase activity of wheat germ during periodical storage. *Agriculture and biology journal of North ISSN Print*: 2151-7517.
- Melcion J-P. 2000.** La granulométrie de l'aliment: principe, mesure et obtention. unité de physique et technologique des végétaux (phytec); inra; prod.anim.81-82.

Motquin B. 2007. Méthode d'appréciation de la qualité des blés destinés à la panification: la qualité technologique des farines –pôle technologique. Agro-alimentairesbl-newsletter n° 13 g-sinneve-cra-w.1.8.

Multon.J.L. 1982 . Conservation et stockage des grains et desgraines et produits dérivés : Céréales oléagineux, protéagineux, aliments pour animaux. Edition: APRIA Volume 2, PP: 1011-1014.

Nystrom L, Paasonen A, Lampi A.M, Piironen V. 2007. Total plant sterols, sterylferulates and steryl glycosides in milling fractions of wheat and rye. *Journal of cereal Science* 45,106–115.

Piras A., Rosa A, Falconieri D, Porcedda S, Dessi M.A, Marongiu B, 2009. Extraction of oil from wheat germ by supercritical co₂. *open access molecules.issn1420-3049*.

Pomeranz. Y. 1988. Wheat chemistry and technology. Third Edition.

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

Reis D ,Vlan B , Bajon C . 2006. Les fibres alimentaires. In « le monde des fibres ». édition : belin. Paris.

Renard C. et They s. 1998. Détermination des méthodes physico-chimiques pour prédire la qualité biscuitière et boulangère des blés français. ind. céréal. n° 14 aout/sep : 11-14.

Roussel PH; Bourson Y. et Berland S. 2006. “ Les pains français”, 910.

Roussel P, Chirion H, 2005. Les Pains Français. Editeur : AbercassisJ, INRA. In site : www.ensmic.scola.cac-paris-fr/920.HTM.

Roussel P. et Hubert C. 2002. Les Pains Français, Qualité Production : 50-52.

Seyer M-E. 2005. Mémoire pour l'obtention du grade de maîtrise es sciences: Les fibres Alimentaires et Le pain de Blé entier. Faculté des études supérieures de l'Université LAVAL. Québec.

Shapter J. 2007. Le grain livre des machines à pains : les meilleures recettes. Éditions de borée, 256p.

Shewry P.R. 2009. The health grain programme opens new opportunities for improvingwheat for nutrition and health. *Nutrition bulletin*, 34(2): 225–231.

Slavin j .L, Martini m .C, Jacobs d .R, Marquart L.1999. Plausible Mechanisms For the Protectiveness of Whole Grains. *American Journal Of Clinical Nutrition* 70, 459s–463s.

Šramkova Z, Gregova E, Sturdik E. 2009. Chemical composition and Nutritional Quality Of Wheat Grain. *actachimicaslovaca*, vol.2, no.1, 115-138.

Srivastava A.K, Sudha M.L, Baskran V.K, LeelavathiK . 2007. Studies on heat stabilized wheat germ and its influence on rheological characteristics of dough. *Eurfood res technol. springer-verlag edition* 224: 365–372.

Tremoliere . J et Cool. 1980 . Les aliments : manuel d'alimentation humaine tome 2 ; pp254.

Umair Arshad A, Surryia Z.F, Anjum m, Tahir Z, HAQ N. 2008. Nutritive Value of cookies containing wheat germ oil. *pakistan journal of life and social sciences* 6 (2): 127-134.

Vierling E. et Frenot L. 2001. Les Céréales in « aliments et boissons ». Filière et produits. doin. editeursceren, 159-175

Zacchi P, Daghero J, Jaeger P, Eggers R. 2006. Extraction/fractionation and deacidification of wheat germ oil using supercritical carbon dioxide. *Braz. J. Chem. Eng.*, 3105-110.

Zenedine A. 2004. Détermination des mycotoxines dans les aliments et étude de la réduction des aflatoxines par les bactéries lactiques isolées des ferments panaires traditionnels. Thèse doctorat, Université S.M.B.A Fés, Maroc.

Zhu K, Sun X, Zhou H, 2009. Optimization of ultrasound-assisted extraction of defatted wheat germ proteins by reverse micelles. *Journal of Cereal Science*, 50(2): 266-271.

Zhu K, Zhou H, 2005. Purification and characterization of a novel glycoprotein from wheat germ water-soluble extracts. *Process Biochemistry*, 40: 1469-1474.

Résumé

L'influence de l'incorporation du son et du germe sur la qualité des pains a été étudiée. L'objectif ultime était de vérifier l'effet de ces derniers sur l'aspect du pain et les valeurs nutritionnelles.

Quatre échantillons de farine contenant des proportions variables en son et en germe ont été analysés. Les paramètres étudiés sont la composition physicochimique ; les caractéristiques rhéologiques des pâtes et la qualité des pains.

Des pourcentages élevés en son et en germe donnent de meilleurs teneurs en élément nutritifs. Parallèlement; une détérioration de la qualité des pains a été observée, comme le volume et l'aspect extérieur de la baguette à pain.

Mots clés: son; germe; qualité sensorielles; pains.

Summary

The influence of the incorporation of the bran and germ of the quality of bread was studied. The ultimate objective was to verify the effect of these on the appearance of bread and nutritional value.

Four sample flour containing variables proportions in bran and germ were analyzed. The parameters studied are the physicochemical composition; the rheological characteristics of dough and the quality of breads.

High percentages in bran and germ produce best levels of nutrient element. In parallel; deterioration in the quality of the bread was observed as the volume and the external appearance of the bread.

Keywords: germ; bran; sensory quality; breads.