

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

Université BLIDA - I -

Faculté de la science de la nature et de la vie

Département de Sciences Agronomiques



Mémoire de fin d'études en vue de l'obtention du diplôme d'un

Master Académique

Domaine: Science de la Nature et de la Vie « SNV »

Spécialité : sciences alimentaires

Etude des caractéristiques physico-chimiques, technologiques et microbiologiques des farines enrichies en germe de blé tendre. Essai d'incorporation en biscuiterie.

Présenté par :

M^{elle} GACHI Siham

Devant le jury composé de :

Mme ACHEHAB .H	MCB	USDB	Président de jury
Mme BOUTEKRABT.L	MCA	USDB	Promotrice
Mme FERNANE. S	MAB	USDB	Examinatrice
Mr BOUSBIA. N	MCB	USDB	Examineur

Année universitaire: 2012/2013

Partie
bibliographique

Chapitre I
La farine

Chapitre II
Le germe de
blé

Chapitre III

Les biscuits

*Partie
expérimentale*

Chapitre I
Matériels
Et
Méthodes

*Références
bibliographiques*

*Conclusion et
perspectives*

Annexes

Chapitre II
Résultats
Et
Discussion

Introduction

Remerciements

Tout d'abord je rends grâce à *ALLAH* pour m'avoir guidé et honoré par la lumière de la compréhension, pour m'avoir fait goûter la connaissance des sciences et de m'avoir donné le courage et la volonté de mener à bien ce modeste travail.

J'exprime ma profonde gratitude à ma promotrice *M^{me} BOUTEKRABT L.* pour avoir bien voulu me guider dans ce travail jusqu'à la fin.

Mes Vifs remerciements vont aux membres de jury qui ont bien voulu accepter de juger ce travail :

M^{me} ACHEHAB.H pour le grand honneur qu'elle m'a fait en acceptant de présider le jury de soutenance;

M^{me} FERNANE S et *M^r BOUSBIA N* qui ont aimablement accepté d'examiner ce travail.

Je tiens également à remercier le responsable de production de l'unité *BIMO*, pour m'avoir accepté et m'avoir accordé la possibilité du travail et au sein de l'unité. Merci au personnel du Laboratoire et de la production surtout *M^{me} SAMIA*, *M^{me} NAWAL*, *M^r IMAD*, *M^r HAKIM* et *M^r BELID*.

Je tiens à exprimer ma gratitude à *M^{me} KAWTER* de m'avoir accueilli dans son laboratoire de la minoterie de *AMOUR* et pour le soutien et l'aide qu'elle m'a attribué.

Je remercie aussi *M^{me} HINDE* de m'avoir autorisé à suivre ce travail au sein du laboratoire de l'unité Couscous *MAMA*, ainsi que, *M^{lle} AMINA* laborantines de laboratoire pour leurs disponibilités et leurs orientations.

Je tiens à remercier aussi toutes les personnes ayant contribué de près ou de loin à la réalisation de ce modeste travail.

Dédicace

*Je voudrais dédier ce modeste travail En guise de reconnaissance et
d'amour :*

*Aux êtres les plus chers à mon Cœur : Ma mère et Mon père pour leurs
bienveillance, leurs soutiens moral et matériel. Ils ont fait de chaque
instant de ma vie un jardin de bonheur.*

*A mes très chères sœurs MERIEM et NOUR EL HOUDA et mes
frères : MOHAMMED, ALI, MOURAD et MESSAOUD, Pour tant de
confiance, d'amour, de patience et d'abnégation ;*

*A ma meilleure amie D. SOUMIA pour son soutien moral, sa patience
et ses encouragements.*

A toute ma famille paternelle et maternelle

*A mes chères amies : AMINA.M, SARAH.S, HAKIMA, SAIDA,
SAMIRA, MERIEM, AMINA et NADJET ..., ainsi tous mes
camarades de promotion avec qui j'ai partagé des moments joyeux.*

A tous ce que j'aime et que je respecte

SIHAM

Liste des figures	Page
Figure 01 : Schéma d'un grain de blé en coupe longitudinale	04
Figure 02 : Schéma général de la mouture de blé tendre	05
Figure 03 : Structures chimiques de (a) l'amylose et (b) l'amylopectine	07
Figure 04 : Classifications des protéines de la farine.	09
Figure 05 : Composition moyenne en lipides d'une farine de blé de type 55	11
Figure 06 : Types de farines selon le taux de cendre.	13
Figure 07 : diagramme de fabrication de biscuit.	38
Figure 08 : germe de blé tendre	40
Figure 09 : farine biscuitière	40
Figure 10 : farine de germe de blé tendre	41
Figure 11 : différentes étapes de détermination de taux de cendres	45
Figure 12 : différentes étapes de l'extraction du gluten	53
Figure 13 : différentes étapes de l'Alvéographe CHOPIN.	55
Figure 14 : Courbe typique obtenue avec un alvéographe de Chopin.	56
Figure 15 : schéma de préparation des dilutions décimales.	61
Figure 16 : caractéristiques biochimiques déterminés sur le germe de blé	66
Figure 17 : teneurs en eau des différents types de farine	68
Figure 18 : pH des différents types de farine	69
Figure 19 : taux de cendres des différents types des farines.	70
Figure 20 : acidité grasse des différents types de farine	71
Figure 21 : teneur en protéines de différentes farines.	72
Figure 22 : Taux d'affleurement des farines	74
Figure 23 : taux de gluten des différents types des farines	76
Figure 24 : Alvéogramme de la farine biscuitière	78
Figure 25 : Alvéogramme de la farine de germe de blé tendre	79
Figure 26 : Alvéogramme de la farine de germe de blé incorporé a 5%.	80
Figure 27 : Alvéogramme de la farine de germe de blé incorporé a 10%.	81
Figure 28 : Alvéogramme de la farine de germe de blé incorporé a 15%.	82

Figure 29 : Alvéogramme de la farine de germe de blé incorporé a 20%.	83
Figure 30 : courbe de préférence de l'état de surface des biscuits en fonction du taux d'incorporation de la farine de germe de blé.	90
Figure 31 : courbe de préférence de la couleur des biscuits en fonction du taux d'incorporation de la farine de germe de blé.	91
Figure 32 : courbe de préférence de la dureté des biscuits en fonction du taux d'incorporation de la farine de germe de blé.	92
Figure 33 : courbe de préférence du goût des biscuits en fonction du taux d'incorporation de la farine de germe de blé.	92
Figure 34 : courbe de préférence de l'odeur des biscuits en fonction du taux d'incorporation de la farine de germe de blé.	93

Liste des tableaux	Page
Tableau 01 : Principaux types de farines	13
Tableau 02 : composition biochimique de différentes parties d'un grain de blé	16
Tableau 03 : Composition globale du germe de blé en g par 100 g	17
Tableau 04 : Caractéristiques minérales et vitaminiques de germe et son intérêt nutritionnel	19
Tableau 05 : composition du germe de blé en éléments minéraux selon différents auteurs.	19
Tableau 06 : Composition des protéines du germe de blé en acides aminés indispensables en g par 100 g de protéines et pourcentage de déficit par rapport aux protéines de l'œuf entier	20
Tableau 07 : composition des fractions céréalières du blé en lysine en g par 100g de protéines (N x 6.25) et pourcentage de déficit	21
Tableau 08 : composition du germe en oses et oligosides en g par 100 g M.S	22
Tableau 09 : Caractéristiques lipidiques du germe meunier	22
Tableau 10 : Répartition des enzymes dans le germe de blé	23
Tableau 11 : caractéristiques d'une farine biscuitière	30
Tableau 12 : les différents taux d'incorporation de la farine de germe de blé	42
Tableau 13 : Tableau récapitulatif du travail expérimental	42
Tableau 14 : les différents taux d'incorporation de la farine de germe de blé	57
Tableau 15 : Quantité des ingrédients utilisés pour la fabrication du biscuit.	57
Tableau 16 : les différents germes recherchés pour chaque produit analysé	60
Tableau 17 : Indice de chute des différents types de farine.	75
Tableau 18 : Caractéristiques physiques des biscuits obtenus.	86
Tableau 19 : Résultats des analyses organoleptiques et sensorielles des biscuits	88
Tableau 20 : les moyennes de préférences des biscuits selon les caractéristiques organoleptiques.	89
Tableau 21 : Résultats des analyses microbiologiques des farines.	94
Tableau 22 : Résultats des analyses microbiologiques des biscuits.	95

Liste des abréviations

AFNOR: Association Française de Normalisation.

Ca: Calicium.

CH: capacité d'hydratation.

Cm: Centimètre.

DM: Dilution mère.

Fe: Fer.

g : gramme

G: Gonflement.

GH : Gluten Humide.

GS : Gluten Sec.

h : heure.

IC: Indice de chute.

ISO: International Organisation for Standarization .

JORA: Journal Officiel de la République Algérienne.

K: Potassium.

Kcal: Kilo-calories.

KJ: Kilo Joule.

L: longueur .

Mg: magnésium.

mg : milligramme.

Min: minute.

ml: millilitre.

MS: matières sèches.

N: normalité.

Na: Sodium.

NA: Norme algérienne.

NaOH: Hydroxide de sodium.

NF: Norme française

OGA: Gelose glucose a l'oxytetracycline.

P: Phosphore.

P: Hauteur.

P/L: Rapport de configuration.

PCA: Plat Count Agar.

pH: potential Hydrogène.

TSE : Tryptone -sel –eau.

VF : Viande foie.

W : travail de déformation de la pate.

Zn : Zinc.

Abréviations spécifiques à la recherche :

- FB : farine biscuitière.
- FG : farine de germe de blé tendre.
- FG 5% : farine de germe de blé incorporés à 5%.
- FG 10% : farine de germe de blé incorporés à 10%.
- FG 15% : farine de germe de blé incorporés à 15%.
- FG 20% : farine de germe de blé incorporés à 20%.
- BT : biscuit témoin.
- BG 5% : biscuit de germe de blé incorporé à 5%.
- BG 10%: biscuit de germe de blé incorporé à 10%.
- BG 15%: biscuit de germe de blé incorporé à 15%.
- BG 20%: biscuit de germe de blé incorporé à 20%
- Abs : absence.

<i>SOMMAIRE</i>	
Remerciement	
Dédicace	
Liste des tableaux	
Liste des figures	
Liste des abréviations	
Résumé	
Introduction	01
Partie bibliographique	
Chapitre I : la farine de blé tendre	
I.1. Le blé	03
I.1.1. Généralités	03
I.1.2. Structure de grain de blé	03
I.2.3. Transformation de blé tendre	04
I.2. La farine	06
I.2.1. Définition	06
I.2.2. Composition des farines	06
I.2.3. Caractéristiques des farines	12
I.2.4. Différents types de farine	13
I.2.5. Critères de qualité d'une farine	13
Chapitre II : le germe de blé tendre	
II.1. Généralités	15
II.2. Structure de germe de blé	15
II.3. composition biochimique de germe de blé et sa valeur nutritionnelle	16
II.3.1. Humidité	18
II.3.2. Composition minérale et vitaminique	18
II.3.3. Les protéines	20
II.3.4. Les glucides	21
II.3.5. les lipides	22

II.3.6. Les enzymes	23
II.4. Extraction de germe en mouture de blé tendre	24
II.5. Importance de la stabilisation de germe de blé	25
II.5.1. Influence sur la durée de conservation	25
II.6. Valorisation du germe de blé	25
II.6.1. le domaine cosmétique	26
II.6.2. Le domaine thérapeutique	26
II.6.3. Le domaine diététique	26
Chapitre III : Les biscuits	
III.1. Définition	28
III.2. Classification des biscuits	28
III.3. Les ingrédients utilisés pour la fabrication des biscuits	29
III.3.1. La farine	29
III.3.2. La matière grasse	30
III.3.3. Le sucre	31
III.3.4. L'eau	31
III.3.5. Les matières levant	31
III.3.6. Le lait	32
III.3.7. Le sel	32
III.3.8. La lécithine	32
III.3.9. Les œufs	33
III.3.10. L'extrait de malt	33
III.3.11. L'arome de vanille	33
III.3.12. Amidon de maïs	33
III.3.13. Les déchets des biscuits	33
III.4. procédé de fabrication des biscuits	34
III.4.1. Réception et entreposage des matières premières	34
III.4.2. Préparation de la formule	34
III.4.3. Malaxage	34
III.4.4. façonnage de la pate	35

III.4.5. Cuisson	35
III.4.5.1. Les étapes de cuisson des biscuits	37
III.4.6. Refroidissement et ressuage	37
III.4.7. Conditionnement	37
Partie expérimentale	
Chapitre I : Matériels et Méthodes	
I.1. Objectif	39
I.2. Matériel biologique	39
I.2.1. Préparation des échantillons	40
I.3. Protocole expérimental	42
I.4. Méthodes d'analyse	43
I.4.1. Caractérisation biochimique du germe de blé tendre	43
I.4.1.1. Teneur en eau	43
I.4.2.2. Teneur en cendres	44
I.4.2.3. Teneur en protéines totales	45
I.4.2.4. Teneur en lipides totaux	46
I.4.2.5. Teneur en glucides totaux	47
I.4.2. Caractérisation physicochimique et technologiques des farines	48
I.4.2.1. Méthodes d'analyses physicochimiques	48
I.4.2.1.1. Teneur en eau	48
I.4.2.1.2. pH	48
I.4.2.1.3. Teneur en cendres	48
I.4.2.1.4. Acidité grasse	48
I.4.2.1.5. Teneur en protéines	50
I.4.2.2. Méthodes d'analyses technologiques	50
I.4.2.2.1. Taux d'affleurement	50
I.4.2.2.2. Indice de chute	50
I.4.2.2.3. taux de gluten	52
I.4.2.2.4. Essai a l'alvéographe CHOPIN	53
I.4.3. Essai de fabrication de biscuit a la farine de blé tendre	56

I.5.1. Formulation de biscuit témoin	57
I.5.2. Processus de fabrication des biscuits	57
I.5.3. Evaluation expérimentales des biscuits	58
I.5.4. Evaluation sensorielle des biscuits	58
I.4.4. Analyses microbiologiques	59
I.4.4.1. Préparation de l'échantillon pour essai	60
I.4.4.2. Recherche et dénombrement des levures et moisissures	61
I.4.4.3. Recherche et dénombrement de <i>clostridium sulfito-réducteur</i>	62
I.4.4.4. Recherche et dénombrement des germes aérobies mésophiles totaux	63
I.4.4.5. Recherche et dénombrement des <i>Staphylococcus aureus</i>	64
Chapitre II : Résultats et discussion	
II.1. Résultat des analyses biochimiques du germe de blé tendre	66
II.2. Etude des farines	67
II.2.1. Résultats des analyses physicochimiques des farines	67
II.2.2. Résultats des analyses technologiques des farines	74
II.3. Etude des biscuits	86
II.3.1. Evaluation expérimentale des biscuits	86
II.3.2. Evaluation sensorielle des biscuits	87
II.4. Résultats des analyses microbiologiques	94
II.4.1. Farines	94
II.4.2. Biscuit	94
Conclusion	95
Références bibliographiques	
Annexes	

Résumé

L'utilisation de germe de blé tendre à forte teneur en glucides, en protéines, en lipides et en éléments minéraux peut améliorer la valeur nutritionnelle des biscuits et nous permettre d'obtenir des produits nouveaux facilement commerciales et d'un grand intérêt industriel. L'objectif de ce travail est la valorisation de germe de blé tendre, sous produit meunier de faibles valeurs commerciales, par transformation en farine et incorporation à des différents taux dans un produit de grande consommation « biscuit ».

Les résultats des analyses physico-chimiques des farines ont montré une teneur en eau s'inscrivant dans les normes des produits broyés et une richesse de la farine de germe de blé tendre en éléments minéraux (2.39% MS) et en protéines (23.75%).

Les résultats des analyses technologiques ont montré que la farine de germe de blé tendre présente une granulométrie hétérogène avec une absence de gluten. L'Alvéogramme a montré que la farine de blé tendre et la farine de germe de blé tendre incorporée à 5% ont les propriétés des farines destinées à la biscuiterie. Les résultats microbiologiques sont conformes aux normes des farines et des biscuits.

L'analyse physique et sensorielle des biscuits a montré que la farine de germe de blé tendre pouvait être utilisée comme complément de farine dans la fabrication des biscuits et le meilleur taux d'incorporation est de 5%.

Mots clés: Germe de blé tendre, farine de blé tendre, farine de germe de blé tendre, valorisation, biscuit.

الملخص :

إن استعمال رشيم القمح اللين الذي يحتوي على كمية معتبرة من الغلوسيدات، البروتينات، الدهون والأملاح المعدنية قد يؤدي إلى زيادة القيمة الغذائية للبسكويت و يمكننا من الحصول على منتج تجاري جديد نو جودة صناعية.

الهدف من هذه الدراسة هو تثمين رشيم القمح اللين المتميز بقيمة تجارية ضعيفة، على شكل طحين وإدماجه بنسب مختلفة في منتج كثير الاستهلاك *البسكويت*.

أظهرت نتائج التحاليل الفيزيوكيميائية للطحين نسبة رطوبة مطابقة لمعايير المنتوجات المطحونة، بينما التركيبية المعدنية موجودة بنسبة عالية في طحين رشيم القمح اللين (2.39% من المادة الجافة) و كذا بالنسبة للبروتينات (23.75%).

نتائج التحاليل التكنولوجية أظهرت أن طحين رشيم القمح اللين لديه حبيبات غير متجانسة، ونسبة الغلوتين فيه منخفضة. أما نتائج الرسم البياني (الفيوغرام) فقد بينت أن طحين القمح اللين و طحين الرشيم (5%) لديهم خصائص الطحين المخصص لصناعة البسكويت. النتائج الميكروبيولوجية للطحين و البسكويت كانت مماثلة للمعايير المطلوبة.

و أخيرا بينت النتائج الفيزيائية و الحسية إمكانية استعمال طحين رشيم القمح اللين كمكمل للطحين في صناعة البسكويت و أن أفضل نسبة مزج هي 5%.

الكلمات المفتاحية : رشيم القمح اللين، طحين القمح اللين، طحين رشيم القمح اللين، تثمين، البسكويت

Abstract

The use of wheat germ high carbohydrate , protein, fat and minerals can improve the nutritional value of biscuits and allow us to easily obtain new commercial products and a great industrial interest.

The objective of this work is the valorization of germ wheat under miller low commercial value product, by transformation into flour and incorporation at different rates in a large consumer product "biscuit"

The results of physico- chemical analyzes of flour showed a water content falling within the standards of ground products, and a wealth of flour wheat germ in minerals (2.39 % DM) and protein (23.75 %) .

The results of technological tests rose as flour wheat germ has a heterogeneous size with no gluten. The Alveogram showed that wheat flour and flour wheat germ incorporated 5% the properties of flour for biscuits . The microbiological results are compliant flour and biscuits.

The physical and sensory analysis showed that cookies flour wheat germ could be used as a supplement to flour in the manufacture of biscuits and the best incorporation rate is 5% .

Keywords : wheat germ, wheat flour, flour wheat germ, valorization, biscuit.

Introduction

L'importance de l'alimentation humaine n'échappe à personne. Le nombre d'individus à nourrir ou à mieux nourrir ne fait que croître et la nourriture restera le premier besoin naturel de l'homme.

A l'échelle mondiale, les secteurs de productions et de transformation des céréales sont des secteurs clés de la production agricole et agroalimentaire.

En Algérie, les travaux de recherche menés par les économistes et les nutritionnistes ont montré que le blé vient en tête des cultures céréalières et qu'il constitue de ce fait, d'une façon directe ou indirecte, l'aliment de base, fournisseur de calories et de protéines pour l'alimentation humaine. De façon directe, il subit une première transformation (meunerie, semoulerie), puis, il est employé par les industries alimentaires de seconde transformation (biscuiterie, pâtes alimentaires). De façon indirecte, les issues de sa mouture (remoulages, sons et germes) sont destinées à l'alimentation animale.

Par ailleurs, des travaux d'étude ont montré que le germe de blé présente une composition biochimique et nutritionnelle très intéressante, notamment sa composition protéique bien équilibrée en acides aminés, sa forte teneur en acides gras essentiels, en vitamines (surtout de groupe B et la vitamine E) ainsi qu'en éléments minéraux et en fibres alimentaires.

Le germe de blé est un bon exemple d'un sous-produit agroalimentaire qui peut être valorisé et devenir une matière première importante pour la préparation de différents produits (enrichissement des produits alimentaires, extraction de l'huile de germe et l'utilisation dans le domaine pharmaceutique). De grands progrès ont été réalisés à ce sujet, au cours de ces dernières années par la majeure partie des pays développés, et plusieurs industries sont parvenues à utiliser, régénérer, revivifier ce produit qui, auparavant était mélangé avec le son, ce qui par conséquent constitue une perte sèche aussi bien pour le producteur que pour le consommateur.

Si quelques essais de valorisation de ce germe ont été réalisés à l'échelle nationale et qui ont donné des résultats probants, il est impératif d'élargir les voies de valorisation les plus rentables et les plus bénéfiques, tant sur l'échelle économique que nutritionnelle. C'est dans ce sens que nous nous sommes intéressés à ce sous-produit en vue de sa transformation en farine et incorporation à différents taux dans un produit de grande consommation « biscuit ».

Ce travail sera compartimenté en quatre et consistera-en :

- ✓ Etude des caractéristiques biochimiques du germe de blé tendre.
- ✓ Etude des caractéristiques physicochimiques et technologiques de la farine de germe de blé tendre, la farine de blé tendre et celle de germe de blé incorporés à différents taux(5, 10, 15 et 20%) à la farine de blé tendre
- ✓ Evaluation expérimentale et sensorielle des biscuits préparés.
- ✓ Etude des caractéristiques microbiologiques de la farine de blé tendre et celle de germe de blé tendre ainsi que les biscuits préparés.

I.1. le blé :

I.1.1. Généralités :

Les céréales sont un groupe de plantes cultivées appartenant, botaniquement parlant, à la famille des Poacées dont les graines présentent par leur abondance et leur composition un intérêt majeur pour l'alimentation de l'homme et des animaux. Les graines alimentaires appartiennent à une dizaine d'espèces végétales. Les plus employées restent le blé, le maïs et l'orge (**GACEM et al ; 2011**).

Le blé ou froment est une des plantes les plus anciennement cultivées, originaire de Proche-Orient où il a poussé naturellement, elle a été utilisée il y a 10000 ans de cela. L'homme a su faire évoluer cette plante jusqu'à sa forme actuelle (**GODON ; 1995**).

Le blé est un monocotylédone qui appartient au genre *Triticum* de la famille des *gramineae*, c'est une céréale dont le grain est un fruit sec et indéhiscant, appelé caryopse. Les deux espèces les plus cultivées sont le blé tendre (*Triticum aestivum*) et le blé dur (*Triticum durum*). Ces deux variétés constituent l'essentiel de l'alimentation humaine dans de nombreux pays.

Les blés sont consommés après transformation, en semoule pour le blé dur ; destiné essentiellement pour la confection des pâtes, et en farine pour le blé tendre ; destiné pour les boulangeries et les pâtisseries (**FEILLET ; 2000**).

I.1.2. Structure du grain de blé :

Un grain de blé est composé de trois parties : (**FEILLET ; 2000**).

- a. **L'albumen** : constitué de l'albumen amylicé (au sein duquel subsistent des cellules complies de granules d'amidon dispersés au milieu d'une matrice protéique et dont les parois celluloseuses sont peu visibles) et de couche a aleurone (80-85 % du grain)
- b. **Les enveloppes** de la graine formées de six tissus différents ; épiderme de nucelle, tégument séminal ou testa (enveloppe de la graine), cellules tubulaires, cellules croisées, mésocarpe et épicarpe (16-17%).
- c. **Le germe** (3%), composé d'un embryon (lui-même de la coléoptile, gemmule de la radicule, de coléorhize et de la coiffe) et de scutellum.

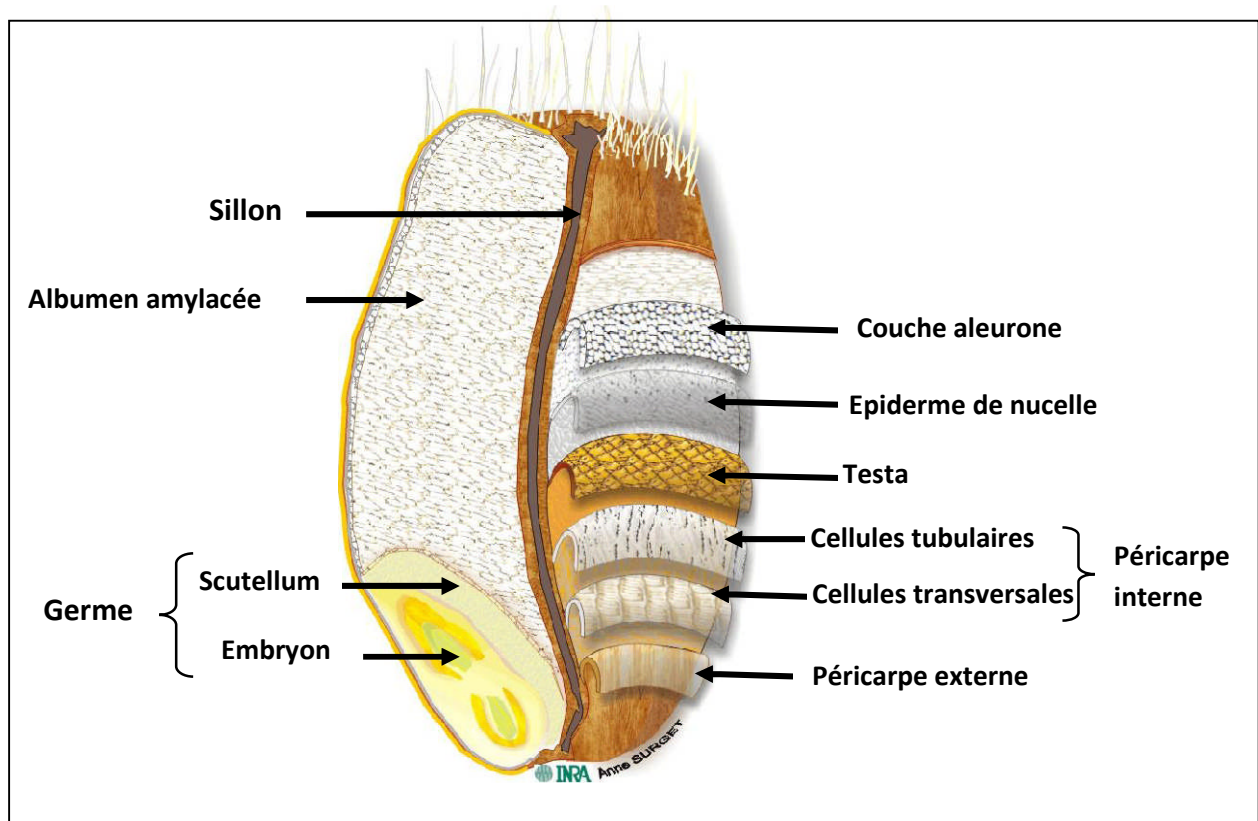


Figure 01 : Schéma d'un grain de blé en coupe longitudinale (MICARD et al ; 2009).

I.1.3. Transformation de blé tendre :

L'art de la meunerie est d'isoler l'albumen amylicé du grain exempt des parties périphériques (enveloppe et couche à aleurone) et du germe avec le meilleur rendement possible et à moindre cout, tout en maîtrisant les propriétés d'utilisation des produits obtenus (FEILLET ; 2000).

La transformation du blé tendre en farine se déroule en trois étapes principales :

1. Le nettoyage des blés, dont le but est d'éliminer les produits et grains contaminants;
2. Le conditionnement qui permet d'augmenter l'élasticité des enveloppes et d'accroître la fiabilité entre les tissus du grain;
3. La mouture proprement dite qui assure la séparation de l'albumen des enveloppes et sa réduction en fines particules (FEILLET ; 2000). C'est une opération dont le rôle est d'extraire du grain de blé tendre le maximum de l'amande qu'il renferme, sans qu'elle soit contaminée par le germe et le son (GODON, 1991 ; BOURSSON, 2009).

Les principales phases de mouture en meunerie de blé tendre sont :

- Broyage.
- Blutage.
- Sassage
- Convertissage et Claquage.

Chaque opération diffère de l'autre par des produits qui y sont récupérés pour aboutir en fin de compte à la farine qu'on peut classer en différents types en fonction de leur composition.

(BOURSSON ; 2009)

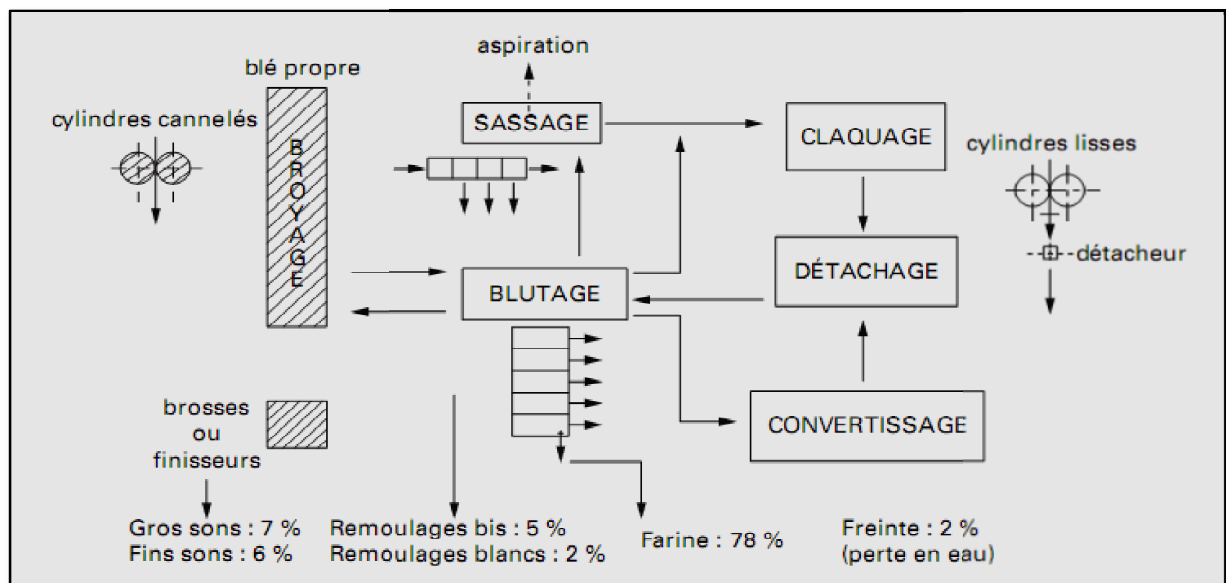


Figure 02 : Schéma général de la mouture de blé tendre (BOURSSON, 2009).

Le processus de transformation de blé tendre fournit les produits suivants :

- ❖ **La farine** : qui est le principal produit de la mouture, constitué des particules très fines de l'amande de blé, résultant de la réduction de celle-ci en phase de broyage, claquage, et de convertissage.
- ❖ **Les sons** : constitués par le péricarpe du grain de blé, comprenant également des fractions des couches sous corticales attachés au péricarpe. Ils proviennent de la phase de broyage.
- ❖ **Les remoulages** : constitués d'un mélange d'enveloppes plus ou moins finement broyées et d'amande farineuse. Ces remoulages peuvent être classés en deux produits :
 - **Les remoulages bis** : qui sont les plus gros, de couleur rouge provenant de claquage.
 - **Les remoulages blancs** : qui sont les plus fines, les plus riches en farine, provenant de convertissage (GODON, 1991).

I.2. La farine :

I.2.1. Définition

La définition de la farine date d'un congrès international de la Répression des fraudes, tenu en 1908 et 1909.

"La dénomination de farine, sans autre qualificatif, désigne exclusivement le produit de la mouture de l'amande du grain de blé nettoyé et industriellement pur." Alors que "le produit de la mouture des autres graines, céréales, légumineuses, nettoyées et industriellement pures, sera désigné par le mot farine suivi du qualificatif indiquant l'espèce de graines, de céréales, de légumineuses, entrant dans la composition, soit à l'état isolé, soit à l'état de mélange". **(CALVEL, 1964) ;(GODON et WILLM, 1991).**

Les farines panifiables qu'elles soient destinées au commerce ou à la consommation familiale, ne peuvent être appelées que sous l'une des trois dénominations suivantes : farine de froment (ou de blé) ; farine de méteil ; farine de seigle.

Farine de froment ou de blé : farine qui provient de la mouture exclusive de blé (espèce *Triticum aestivum*, sous espèce *vulgare*) sain, loyal et marchand. **(LENAOUR et al, 1998).**

I.2.2. Composition des farines :

a) Teneur en eau :

La teneur en eau des farines varie de 14 à 16% en fin de mouture. Cette teneur est une condition importante de la bonne conservation des farines. Elle intervient dans le taux d'hydratation des pâtes et donc dans leurs caractéristiques rhéologiques. **(GODON et WILLM, 1991).**

b) Teneur en matières minérales :

Les matières minérales du blé sont des constituants pondéralement mineurs de l'ordre de 1.6 à 2% (exprimés sur matière sèche).

La teneur en matières minérales (teneur en cendres), définit les types commerciaux de farine. Elle est en relation avec le taux d'extraction de la farine par rapport au blé. **(CALVEL, 1964) ; (GODON et GUINET, 1994).**

c) La teneur en glucides :

La farine de blé comporte divers types de glucides :

- Des sucres réducteurs et non réducteurs : 1.5 à 2 %,

- De l'amidon : 78 à 80 % (constituant principal de l'amande)
- Des pentosanes : 3 à 3.5 %,
- De la cellulose : 0.2 à 0.3 %.

L'amidon natif représente, sous forme de granules sphériques, le constituant le plus important sur le plan pondéral de l'ordre de 70%. Une partie de ces granules d'amidon est endommagée par l'action mécanique de la mouture. Ils seront transformés en maltose pour alimenter le processus fermentaire (**LENAOUR et al, 1998**).

Les grains d'amidon de blé sont constitués à 98 % de la fraction glucidique (amidon), les 2% restants comportent un certain nombre de constituants mineurs (protéines, lipides, minéraux).

La fraction glucidique est constituée de 2 types de chaînes polyosidiques formées d'unités α -D-glucose (**BANKS et GREENOOD, 1975**) :

- **L'amylose** (26 % de la fraction glucidique) est un polymère essentiellement linéaire pour lequel les unités D-glucose sont liées par des liaisons α (1 \rightarrow 4) (**Figure 03 a**).
- **L'amylopectine** est le principal constituant glucidique de l'amidon de blé normal avec une fraction de 74 %. Il s'agit d'une molécule ramifiée pour laquelle des liaisons α (1 \rightarrow 4) relient les unités D-glucose formant la chaîne principale et des liaisons α (1 \rightarrow 6) assurent les liaisons avec les ramifications (**Figure 03 b**).

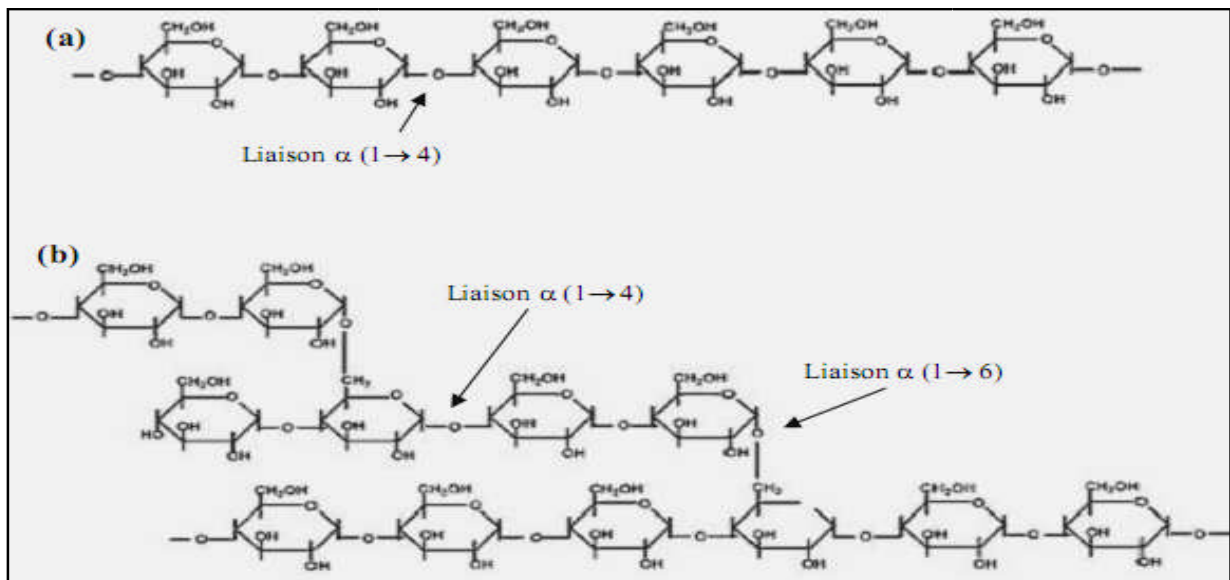


Figure 03 : Structures chimiques de (a) l'amylose et (b) l'amylopectine (**LASSOUD - OUALDI ; 2005**).

Les pentosanes (ou hémicelluloses) représentent la majeure partie des polysaccharides non amylacés (67%). Les 33% restants sont constitués de β -glucanes. Selon leurs solubilités dans l'eau, les pentosanes sont partagés en deux catégories : les pentosanes solubles et les pentosanes insolubles. Ils sont constitués de polysaccharides non amylacés, formés d'unités d'anhydropentoses, dont 70% sont des arabinoxylyanes (1/3 insolubles et 2/3 solubles) et les 30% restants par des arabinogalactanes (solubles) (**ROUAU *et al.*, 1994**).

Les arabinoxylyanes ont une forte capacité d'adsorption d'eau et influencent donc les propriétés rhéologiques des pâtes. De par l'augmentation de viscosité qu'ils confèrent à la pâte boulangère, ils contribuent à stabiliser les alvéoles gazeuses au cours de la montée en température (**CHARUN et MOREL, 2001**). Ils adsorbent environ 10 à 11 fois leur masse d'eau ; et joueraient un rôle majeur dans l'hydratation de la farine malgré leur faible quantité.

Une corrélation négative a depuis longtemps été mise en évidence entre la qualité de fraction de mouture, riches en pentosanes insolubles, et l'étalement des biscuits. Les résultats concernant l'effet des fractions solubles sont plus divergents : elles augmenteraient le diamètre des biscuits. Certains auteurs estiment que le potentiel biscuitier des farines serait essentiellement déterminé par la capacité d'adsorption d'eau des pentosanes (**CHARUN et MOREL, 2001**).

d) Teneur en protéines :

La farine n'est pas un aliment exclusivement glucidique, elle comporte une quantité non négligeable de protéines.

Les protéines de la farine jouent un grand rôle puisque « la force » des farines est étroitement associée au matériel protéique du grain, du double point du vue qualitative et quantitative (**BUQUET, 1974**).

La teneur en protéines des farines de blé destinées à la fabrication de produits de cuisson à base de céréales varie de 7 à 15 % environ. Elle est fonction de la teneur en protéines des blés mis en mouture, de la répartition de celles-ci dans le grain et du taux d'extraction de la farine par rapport au grain (**GODON et GUINET, 1994**).

On distingue deux types de protéines : les protéines de structure (albumines et globulines) et les protéines de réserve (gliadines et gluténines réunies sous l'appellation prolamines).

La classification d'**OSBORNE (1907)** a été adoptée pour différencier les protéines. Elle est basée sur leur solubilité relative (**figure 04 a**) :

- **Les albumines :** (9 à 13% des protéines) solubles dans les solutions salines et qui restent solubles en cas de dialyse contre de l'eau.
- **Les globulines :** (6 à 8% des protéines) solubles dans les solutions salines qui précipitent en cas de dialyse contre de l'eau.
- **Les gliadines :** (30 à 40% des protéines) solubles dans les solutions aqueuses à teneur élevée en éthanol (60 à 70%).
- **Les gluténines :** (40 à 50 % des protéines) solubles dans les solutions aqueuses d'acide acétique ou alcalines diluées.

Les gliadines et les gluténines forment le réseau de gluten dont le comportement affecte considérablement les propriétés rhéologiques des pâtes (**BLOKSMA, 1990**). Outre les différences fonctionnelles notables entre les gliadines et les gluténines, des différences biochimiques ont permis à **SHEWRY *et al.* (1986)** d'affiner cette classification. En effet, dans la famille des prolamines, on distingue les prolamines riches en soufre, les prolamines pauvres en soufre et les prolamines de haut poids moléculaire (**figure 04 b**).

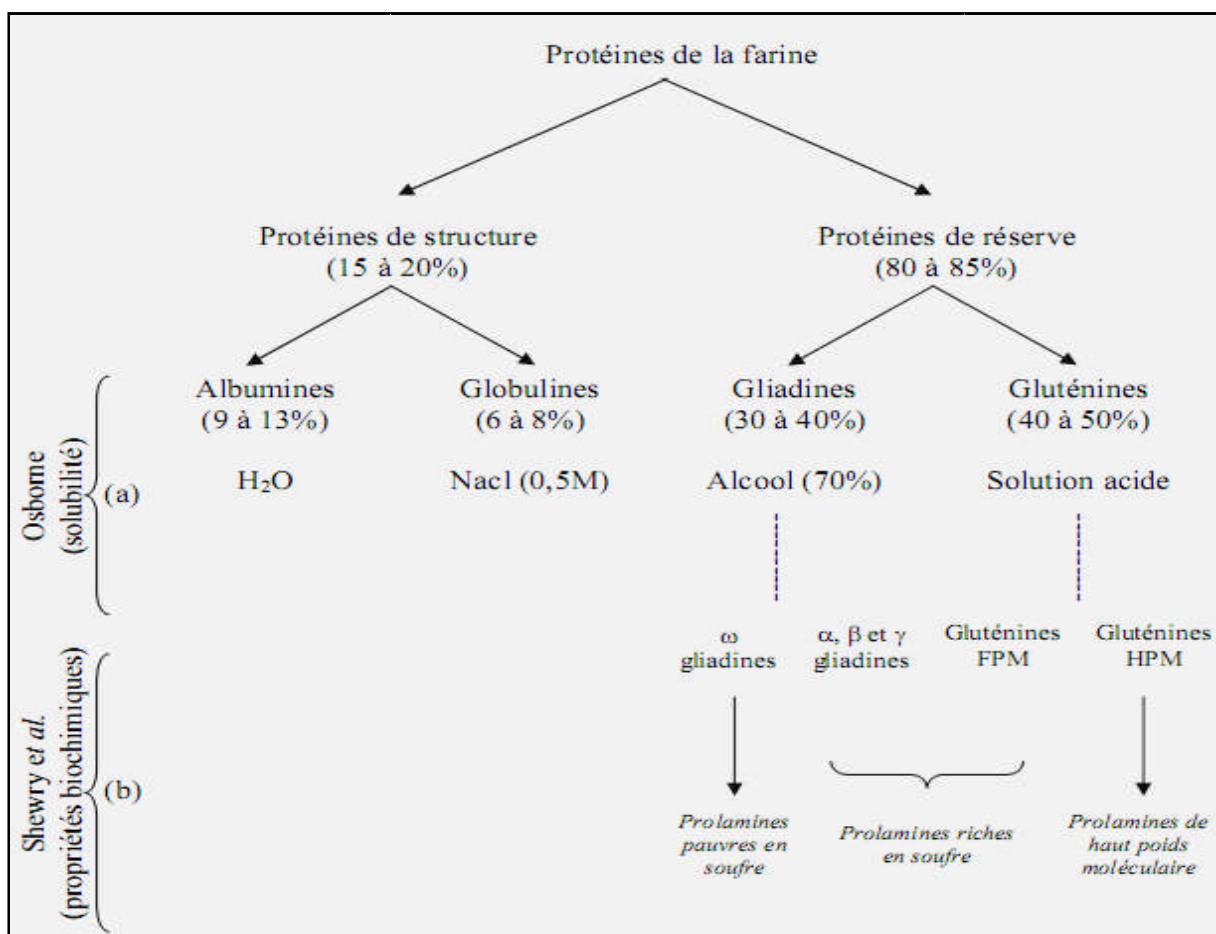


Figure 04 : Classifications des protéines de la farine proposées par (a) OSBORNE (1907) et (b) SHEWRY *et al.* (1986) (**LASSOUED -OUALDI ; 2005**).

e) Teneur en lipides :

Les lipides ne constituent qu'une faible partie de la farine : 1 à 2%. Ils jouent un rôle important au cours de la conservation et de l'utilisation des farines. Au cours du stockage, les lipases entraînent la libération d'acides gras. Ceux-ci participent à l'amélioration des propriétés technologiques de la farine en panification. Le pétrissage permet la formation de complexes lipides-protéines.

Les qualités plastiques du gluten dans ces conditions sont renforcées et la pâte montre une plus grande tolérance aux différentes phases de la panification (**GODON et GUINET, 1994**).

Les lipides des farines sont classés selon leur extractibilité dans différents solvants (figure 5). On distingue (**MAC RITCHIE et GRAS, 1973 ; CHUNG *et al.*, 1978**) :

- **Les lipides libres** (70%) : c'est la fraction lipidique qui peut être extraite directement par les solvants apolaires (éther de pétrole, hexane...). Elle correspond aux lipides n'ayant que des interactions de faible énergie avec les autres constituants de la farine : liaisons hydrogène et/ou ionique. Cette fraction est constituée majoritairement de lipides apolaires qui sont les lipides de réserve du grain de blé. Ils sont constitués de triacylglycérol, de faibles quantités de diacylglycérol et de monoacylglycérol et d'acides gras libres issus des réactions de biosynthèse des triacylglycérol ou des réactions de dégradation des lipases.
- **Les lipides liés** (30%) : nommés par opposition aux lipides libres et correspondant à la fraction non extractible par les solvants apolaires ou encore extractibles avec les solvants polaires tel que l'alcool. Cette fraction interagit avec les autres constituants de la farine par des liaisons hydrophobes. Cette fraction est constituée majoritairement de lipides polaires qui sont les lipides de structure du grain de blé. Ils comprennent essentiellement des glycolipides et des phospholipides.

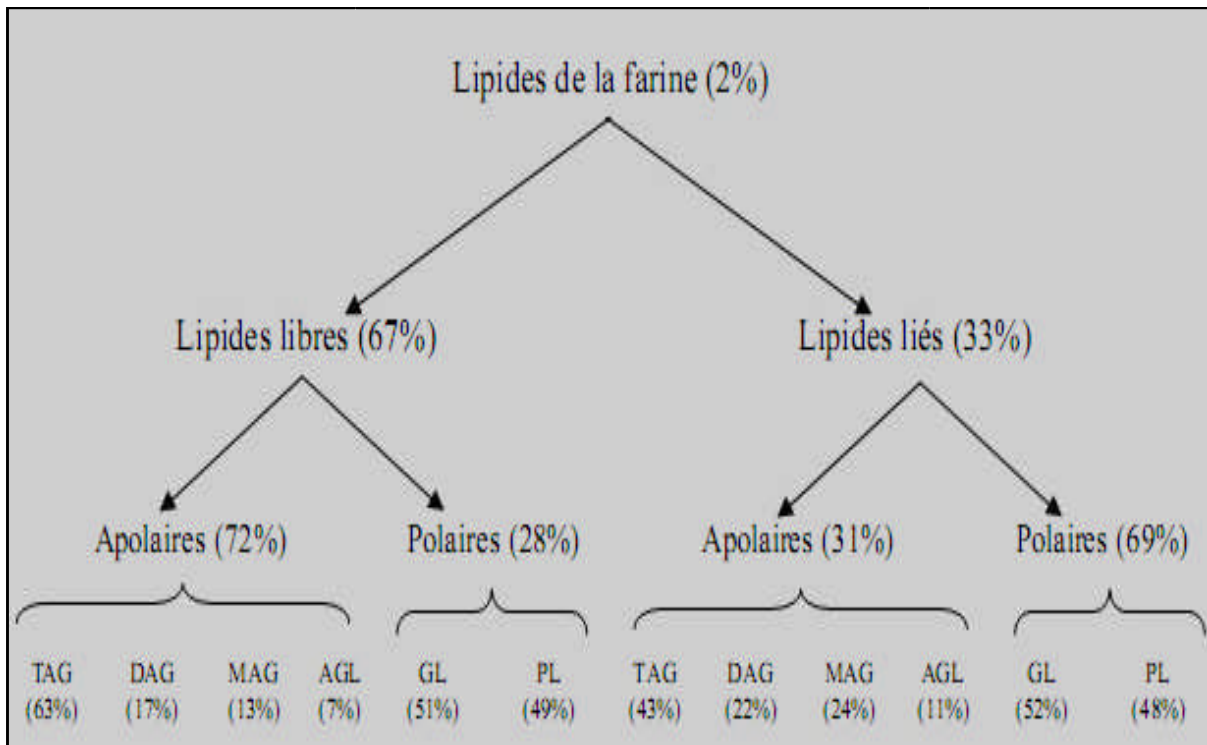


Figure 05 : Composition moyenne en lipides d'une farine de blé de type 55 (LASSOUED-OUALDI ; 2005).

Légende :

- TAG : Triacylglycérol
- MAG : Monoacylglycérol
- GL : Glycolipides
- DAG : Diacylglycérol
- AGL : Acides gras libres
- PL : Phospholipides.

f) Les enzymes

Les enzymes sont présentes en petite quantité dans la farine. Les plus courantes sont des protéases, les lipases, les lipoxygénases et les amylases (BOUDREAU et MENARD, 1992). Les enzymes catalysent des réactions biochimiques faisant apparaître de nouvelles substances qui peuvent posséder des propriétés particulières sur les plans technologiques, organoleptiques et nutritionnels.

- **Les amylases** : elles hydrolysent l'amidon ; leur action est essentielle pour le développement de la pâte.
 - **La β amylase** attaque l'amidon endommagé (d'où l'importance des conditions de mouture) à partir de l'extrémité non réductrice des chaînes, en détachant des unités de maltose.
 - **L' α amylase** apparaît au cours de la germination des céréales. Elle rompt les liaisons α (1-4) glycosidiques au hasard à l'intérieur de la molécule de polysaccharide.

- **Les protéases** : leur action est fondamentale lors du développement de la pâte, au cours du pétrissage et de la fermentation. Ce sont des enzymes protéolytiques. On distingue les exopeptidases et les endopeptidases.
- **La lipase** : elle hydrolyse les liaisons esters des triglycérides et permet donc la libération d'acides gras qui entraînent une acidification des farines et le développement d'une odeur de rance. Son action s'exerçant essentiellement lors du vieillissement de la farine, elle serait préjudiciable à la conservation et à la qualité des farines.
- **La lipoxygénase**: elle oxyde les acides gras insaturés possédant certaines doubles liaisons non conjuguées. Il en résulte des peroxydes et des hydroperoxydes qui ont une action bénéfique sur la rhéologie des pâtes. (DEROO, 1985) ;(MASY LATTARD, 1989).

I.2.3. Caractéristiques des farines :

La farine est caractérisée par ses taux d'extraction, de blutage et de cendres.

✚ Le taux d'extraction :

Est exprimé par le rapport \square poids de farine extraite sur 100 kg de blé mis en œuvre \square . Il représente donc la quantité de farine retirée de 100 kg de blé (CALVEL, 1964). Plus il est élevé, plus il y a de risque que la farine contienne de son. La farine de faible taux d'extraction présente de meilleures caractéristiques organoleptiques (aspect plus blanc) et fonctionnelles (pâte boulangère) (CHEFTEL et CHEFTEL, 1977).

✚ Le taux de blutage :

Représente la quantité de son et remoulages recueillis au cours de la mouture de 100 kg de blé (CALVEL, 1964) ; (MASY LATTARD I, 1989). C'est le complément à 100 du complément du taux d'extraction, si le taux de blutage est fort, peu de farine a été obtenue, la farine est donc dite fortement blutée. (FREDOT, 2005).

✚ Le taux de cendres :

Exprime la pureté des farines et correspond à la quantité de minéraux, principalement contenus dans le son, et encore mélangé à la farine (MASY LATTARD I, 1989). Pour le pain courant, la farine utilisée est de type 55 (taux d'extraction à 74%) ce qui signifie qu'elle contient 0.55g de minéraux pour 100 g de farine. c'est donc une farine très blanche, très raffinée mais très pauvre en minéraux. En revanche, la farine à pâtisserie est généralement de type 45 (FREDOT, 2005).

I.2.4. Différents types de farine

Les farines sont classées par « type » en fonction du taux de cendres (**figure 06**), c'est-à-dire selon le poids de matière minérale contenue dans 100 grammes de matière sèche.

Plus celui-ci est élevé, plus la farine contient des matières minérales.

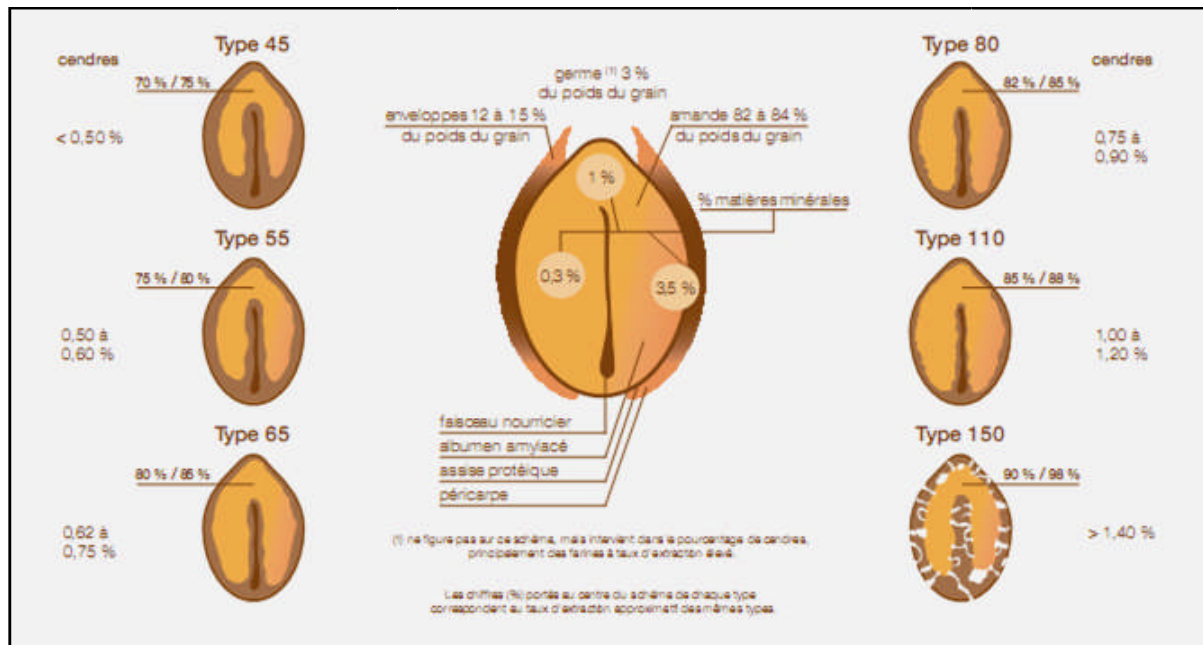


Figure 06 : types de farines selon le taux de cendre (CABROL, 2006).

Les principaux types de farines obtenues sont indiqués dans le **tableau 01**.

Tableau 01 : Principaux types de farines obtenus selon Vierling, (2003).

Type de farine	Cendre% de la matière sèche	%d'extraction	Utilisation
45	<0.50	68	pâtisserie
55	0.50-0.60	74	Pain courant, Biscotte, panification Fine, biscuiterie, Pâtisserie.
65	0.62-0.75	78	biscuiterie
80	0.75-0.90	82	Pains spéciaux
110	1.00-1.20	85	Pains bis
150	>1.40	94	Pains complets.

I.2.5. Critères de qualité d'une farine

❖ Pureté de la farine

La pureté des farines est appréciée indirectement par le taux de cendre, qui dépend non seulement de leur taux d'extraction, mais également de la minéralisation des grains mis en mouture (**GODON et WILLM, 1991**).

❖ Teneur en eau

La teneur en eau des farines est une condition importante de leur bonne conservation. En aucun cas, la teneur en eau des farines ne doit être supérieure à 16%. Il faut noter que la farine est hygroscopique ; il est normal qu'au cours du stockage, la teneur en eau des sacs et sachets de farines puisse varier, ainsi que leur poids, mais la matière sèche demeure constante et le produit garde la même valeur aux points de vue technologique et nutritionnel (**GODON et WILLM, 1991**).

❖ Protéines et gluten des farines

Le blé se différencie des céréales par l'aptitude de ses protéines à former facilement et spontanément un réseau de gluten, par pétrissage de la farine avec de l'eau. Bien qu'il soit l'essai le plus anciennement pratiqué, le dosage du gluten n'est plus guère utilisé comme moyen de contrôle courant : sur le plan quantitatif, on lui préfère le dosage des protéines, et sur le plan qualitatif, les essais rhéologiques sur pâte (**GODON et WILLM, 1991**). Quoiqu'il en soit, le rôle exercé par la teneur en protéines des farines sur leur qualité technologiques est essentiellement en fonction de la nature du produit fini (**GODON et WILLM, 1991**).

❖ Qualité plastique des pâtes

Quelle que soit la diversité de qualité des farines recherchées, le premier soin des utilisateurs est de commencer à en faire une pâte. Les caractéristiques des pâtes varient non seulement en fonction de la qualité des farines mais aussi en fonction :

- ✓ De la quantité d'eau ajoutée ;
- ✓ De la présence de matières premières complémentaires ;
- ✓ De l'intensité du pétrissage ;
- ✓ Des conditions de repos (**Godon et Willem, 1991**).

Les appareils permettant d'apprécier la qualité des pâtes peuvent être classés en deux grandes catégories :

- Ceux qui permettent d'apprécier le pouvoir d'adsorption d'eau de la farine et la consistance de la pâte : le Farinographe BRABENDER ;
- Ceux qui étudient la déformation des pâtes : Alvéographe CHOPIN (**Godon et Willem, 1991**).

II.1. Généralités :

Le germe est la partie vivante de grain de blé, il ne représente que 3 % du grain, il est enfermé dans une membrane protectrice l'épiblaste, il comprend l'embryon de la plante fille et le Scutellum (**GODON, 1991**). Son odeur est caractéristique, il présente une saveur sucrée et grasse avec un gout de noisette (**KIGER et KIGER, 1967**).

Les germes des céréales réunissent un nombre de substances biologiquement actives, indispensables à l'édification et la croissance de la plante, dans la texture naturelle. Du fait de leur teneur en huile et leurs fractions de substances actives oléo solubles, le germe de blé constitue une matière première précieuse (**CHABAN et TERRACHE, 2000**).

Le germe dans son ensemble, est un produit riche en matière protéique (35 à 40 % de MS), en matière grasse : 15 % et en matière minérale (5 à 6 % de MS). Il est également riche en vitamine du groupe B et en vitamine E, (**NURET, 1989**) ;(**BOURSON, 2009**). Aujourd'hui, les nutritionnistes, ont pris conscience de sa valeur et encourage l'utilisation de germe de blé comme complément nutritionnel. Saupoudré quotidiennement sur les salades, yaourts, potages ... il apporte tous les éléments qui sont souvent déficient dans notre alimentation moderne.

II.2. Structure de germe de blé :

Selon **AYROY et DOUGHTY ; 1970**, Le germe de blé comprend deux parties essentielles : le scutellum et l'embryon.

- Le scutellum :

Il entoure l'embryon et le sépare de l'amande, d'une part il est riche en thiamine (60% de thiamine total de grain), d'autre part ; le scutellum est riche en phosphore.

- L'embryon :

L'embryon contient environ 30% des protéines solubles ; mais pas d'amidon. On y trouve de saccharose et de raffinose, qui donne à l'embryon son gout douceâtre. La thiamine et d'autres vitamines du groupe B sont présentes de quantités considérables. Il est riche en matières grasses ou en huile ; ce qui explique leur richesse en vitamine E.

D'après **BARNES ; 1983**, l'embryon est formé :

- ✓ D'une radicule qui donnera la future racine ;
- ✓ D'une tigelle qui donnera la future tige ;
- ✓ Et d'une gemmule qui est, un petit bourgeon dont la croissance pendant la germination fournira les feuilles.

II.3. Composition biochimique du germe et sa valeur nutritionnelle :

Le germe de blé est un produit à valeur biologique élevée, très riche en protéines, en matière grasse, ainsi qu'en vitamines, minéraux et en enzymes, par rapport aux autres parties du grain de blé.

La composition biochimique des différentes parties d'un grain de blé est représentée dans le tableau 03. **(En g/100g de fraction comestible fraîche).**

Tableau 02 : composition biochimique de différentes parties d'un grain de blé (**BURE et GUINET, 1977**).

% pondéral des parties de grain de blé	Matières azotés (protéine)	Matières grasses (lipides)	Matières minérales (cendres)	Matières cellulose	pentosane	amidon
Péricarpe (4%)	7-8	1	3-5	25-30	35-43	-
Tégument séminal (1%)	15-20	-	10-15	30-35	25-30	-
Epiderme nucellaire et assise protéique (9%)	30-35	3-5	7-8	6	30-35	10
Germe (3%)	35-40	15	5-6	1	20	20
Endosperme (83%)	8-13	-	1	0.3	0.5-3	70-85
Amande périphérique et amande centrale.	10-15	-	-	-	-	65-72
Grain entier (100%)	10-15	1	1.5-2.5	2-3	5-8	60-70

La composition biochimique varie en fonction de la technique d'extraction (**ADRIAN, 2004**). Au laboratoire il est possible de recueillir le germe en tant que fraction anatomique du grain, de même que son annexe le Scutellum. Cette façon d'opérer aboutit à l'obtention du germe pur ; son analyse sert en quelque sorte de donnée de référence.

Au cours de la mouture du blé tendre par voie sèche, parmi les produits issus des premiers broyeurs, une fraction correspondant au germe peut être séparée de l'ensemble de la mouture. Il s'agit du germe meunier, qui présente des différences sensibles avec le produit

expérimental en raison de la présence inévitable de fragments étrangers provenant des autres fractions du grain ; d'albumen, de couches sous-corticales et de péricarpe.

Dans le germe meunier, les spécificités biochimiques sont donc atténuées en raison de la présence d'éléments étrangers, ce qui se traduit par des différences d'ordre qualitatif et quantitatif. Le germe pur est, avant tout, une matière protidique et secondairement glucidique (**Tableau 03**). Une de ses particularités est de ne contenir pratiquement que des oses ou oligosides, hormis un faible pourcentage de cellulose brute correspondant aux glucides pariétaux.

Le germe pur offre un taux de lipides modeste (environ 15 %). A l'inverse, il contient une quantité importante de cendres totales et dont l'intérêt nutritionnel sera précisé plus loin.

Sur le plan énergétique, le germe de blé offre un potentiel de 400 Kcal/100 g, c'est à-dire un peu plus élevé que celui de la farine blanche (330 Kcal). Dans le germe Meunier outre les sucres simples du germe, ces glucides sont largement constitués de fibres «insolubles» (18,5 %). Cette teneur découle de la proportion élevée de péricarpe et de couches sous corticales associés au germe issu de la meunerie. Ces particules étrangères expliquent également les taux faibles en protéines (27 % au lieu de 39 %) et des lipides (9,5 % au lieu de 16,5 %).

Tableau 03 : Composition globale du germe de blé en g par 100 g (**ADRIAN, 2004**).

	Germe Pur	Germe meunier
Eau	14	11.5
Protéines	39	26.5
Lipides	16.5	9.3
Glucides digestibles	22.5 (a)	23.5
Fibres insolubles	-	18.6
Fibres solubles	-	6.1
Cellulose brute	3.2	-
Minéraux	4.8	4.2
Valeur énergétique		
En Kcal	395	284
En k Joules	1625	1170

(a) exprimé en sucres.

II.3.1 Humidité :

La teneur en eau est un facteur déterminant lors de la conservation. D'après **BARNES (1983)**, **AL KAHTANI (1989)**, et **FAVIER (1991)** le germe contient environ $9 \pm 1,70$ g d'eau par 100g, alors que **ADRIAN(1995)** a trouvé de teneur plus élevée qui est de 12.

Les différences enregistrées sont essentiellement dues aux conditions de récupération, ainsi que le conditionnement du blé (préparation a la mouture).

II.3.2. Composition minérale et vitaminique:

Le germe de blé est fortement minéralisé, toutefois dans ce domaine il souffre d'un handicap du fait d'une forte accumulation d'acide phytique, lequel constitue une réserve de phosphore (Tableau 04).

La teneur en cendre du germe de blé se situe dans un intervalle de 4 à 6% (**ADRIAN, 2004** ; **BOURSON, 2009**).Ce qui est affirmé par les teneurs trouvées par **BARNES (1983)**, **AL KAHTANI (1989)**, avec respectivement : 4% ,5.09 %.

La composition en éléments minéraux du germe d'après différents auteurs est représentée dans les **Tableau 05**. On constate que le germe est riche en phosphore, en potassium et en magnésium, moyennement riche en calcium, pauvre en zinc et en fer. La variation dans les concentrations peut être due à la différence variétale et/ou à la contamination du germe par le son. (**AL KAHTANI, 1989**).

La situation est bien différente dans le domaine vitaminique malgré l'absence de vitamines A et D. les tocophérols sont très abondants. La forme majoritaire étant la forme α , qui est totalement suffisant pour couvrir le besoin nutritionnel (**Tableau 04**). Le niveau de l'ensemble des vitamines B à l'exception de la vitamine B12 rivalise avec celui des meilleures sources alimentaires, telles que la levure sèche et le foie. D'une manière générale, elles se répartissent uniformément entre le germe et le Scutellum. Celui-ci se distingue cependant par une richesse extraordinaire en thiamine : 5 à 10g par jour couvriraient le besoin de l'homme adulte.

Deux autres points méritent d'être soulignés : la richesse du germe en pyridoxine (vitamine B6) et en acide folique (vitamine B9). Le corps médical fait classiquement appel à ces facteurs dans deux situations précises : la vitamine B6 est une arme efficace contre la spasmophilie, et une supplémentation en vitamine B9 est pratiquée couramment lors des grossesses. Il est aisé d'en déduire la place que le germe pourrait occuper en alimentation humaine (**ADRIAN, 2004**).

Tableau 04: Caractéristiques minérales et vitaminiques de germe et son intérêt nutritionnel (ADRIAN, 2004).

	Germe meunier	Germe pur	% des besoins Couverts par la consommation 100 g de germe meunier
	mg / 100 g		
Calcium	70	35-70	8
Magnésium	250	140-360	60
Fer	1.65	0.95	18
Phosphore total dont : phytique	1100 47%	1230 40%	78
Vitamine E totale Dont : α tocophérol β tocophérol	25-50 55% 30%	70 60% 20%	205
Vitamine B1	2	0.4-2.6	155
B2	0.7	-	44
B3	4.5	3-5.5	32
B6	3.3	-	185
B9	0.5	0.2	150

Tableau 05 : composition du germe de blé en éléments minéraux (en mg/100g de M.S) selon différents auteurs.

Élément minéraux (mg/100g) Auteurs	Ca	P	K	Na	Zn	Mg	Fe
	AL-KAHTANI (1989)	5.6	806	805	traces	12.2	154
J.ADRIAN (1995)	70	1200	850	5	-	260	10
E. FREDOT (2005)	55	971	871	9	-	250	7.6

II.3.3. Les protéines :

Le germe de blé est une source importante de protéines végétales de grande qualité. Il est considéré comme la partie la plus riche en protéines ; et sa richesse correspond à des proportions harmonieuses de tous les acides aminés nobles (**HETTARACHCHY et al, 1996**).

BARNES (1983) ; LUPANO et al (1986) ont rapporté que le germe renferme une teneur en protéines de 26% cette valeur est comparable à celle trouvée par **ADRIAN (1995) : 27 %**, **NASSAH (1998) ; KARWOWSKA et KOSTRZEW (1998) ; HETTIARACHCHY et al, 1996** quant à eux ont trouvé des valeurs supérieures : 40 % 35 %, 30 %, respectivement. Alors que **BAJAJ (1991)** ne rapporte que 20,48 %.

Deux grande familles ; les protéines globulaires (albumine et globuline) et le gluten (Gliadines et Gluténines) (**ADRIAN, 2004**), Selon ce même auteur ces protéines sont composées pour une large part d'albumines (30 %) et de globulines (19 %), ayant un très bon équilibre en acides aminés indispensables. Les Gluténines ne sont qu'à un taux insignifiant, alors que les Gliadines constituent 15% de l'ensemble. Il reste près du tiers des composés protidiques dont la nature est difficile à déterminer et dont la structure se rapproche de celles des Gliadines et des Gluténines

L'ensemble aboutit à un équilibre satisfaisant en acides aminés puisque le plus grand déficit en acides aminés soufrés se situe à 40 % (**Tableau 06**) et que les déficits secondaires sont de l'ordre de 30 %.

Tableau 06 : Composition des protéines du germe de blé en acides aminés indispensables en g par 100 g de protéines et pourcentage de déficit par rapport aux protéines de l'œuf entier (**ADRIAN, 2004**).

	Protéines	Déficit %
Arginine	6.95	-
Cystine	1.55	-
Histidine	2.9	-
Isoleucine	4.65	29
Leucine	7.2	14
Lysine	6.2	12
Méthionine	1.7	50
Phénylalanine	3.9	32
Thréonine	4.75	8
Tryptophane	1.1	27
Valine	5.1	28
Somme acides soufrés	3.25	42

A partir de ce tableau, on observe la richesse quantitative et qualitative du germe de blé en acides aminés, ce qui rend le germe de blé un concentré protéique plus équilibré en acides aminés

Le germe de blé se classe donc parmi les produits qui apportent des protéines de bonne qualité, et se rapproche de celle des viandes. La richesse en lysine mérite d'être aussi soulignée: Contrairement aux protéines des autres fractions céréalières, celles du germe ne sont pas déficientes en lysine aussi, le germe de blé est-il un facteur de correction azotée pour les dérivés céréaliers entrant en alimentation humaine (farine blanche, semoules, gluten) : son introduction améliore inmanquablement la qualité azotée du produit (**tableau 07**).

Tableau 07 : composition des fractions céréalières du blé en lysine en g par 100g de protéines (N x 6.25) et pourcentage de déficit (**ADRIAN, 2004**).

		Lysine	Déficit %
Référence	Œuf	7.05	0
Blé	Grain entier	2.8	60
	Farine blanche	2.1	70
	Gluten	1.55	78
	Son	4.15	41
	Germe	6.05	14

II.3.4. Les glucides :

Outre les polyosides pariétaux la fraction glucidique du germe se compose presque exclusivement de di-et triholosides, accompagnés d'oses simples.

En analysant le germe pur, germe meunier et Scutellum, il est rapporté que le saccharose et le raffinose en sont les composants majeurs (**Tableau 08**). Ce sont même les seuls éléments décelables dans les produits expérimentaux. D'une manière générale, on considère que le saccharose représente près de 10 % du poids du germe ; cette proportion lui confère un goût agréable lors de la consommation. En revanche, la présence du raffinose offre peu d'intérêt, d'autant qu'il est susceptible de provoquer des flatulences lorsqu'il est métabolisé par des clostridia au cours du transit intestinal (**ADRIAN, 2004**).

La teneur en glucide dans le germe varie dans l'intervalle de 16 % à 34 % d'après certains auteurs. Le taux des glucides pour les variétés cultivées en Arabie Saoudite indiqué

par **AL KAHTANI (1989)** est de 16,66% cependant, **KARWOWSKA et KOSTRZEW (1988)** et **NESSAH (1998)** ont trouvé des valeurs plus élevées : 30% et 34% respectivement. Ces différences en teneur sont liées à la contamination par l'endosperme et le son (**SUDHA et al, 2007**). Le germe est aussi riche en polysaccharides (cellulose 3,3 %) et en pentosanes 8,2%.

Tableau 08 : composition du germe en oses et oligosides en g par 100 g M.S (**ADRIAN, 2004**).

	Germe Meunier	Germe pur
Oses et oligosides	16.8	21.9
Totaux Dont		
- Saccharose	6.3	12.0
- raffinose	9.7	9.9
- fructose	0.8	-

II.3.6. Les lipides :

La teneur en lipides est élevée dans le germe (15 %), un peu plus faible (7-8%) dans les couches externes de la graine et elle est nettement plus faible dans tous les autres tissus dont l'endosperme (**GODON, 1991**).

La phase lipidique est particulièrement complexe (**Tableau 09**) : à côté des lipides apolaires (triacylglycérols), elle renferme 15 % de matières émulsifiantes sous forme de phospholipides et environ 5 % de matière insaponifiable, valeurs très supérieures à la composition des graines oléagineuses usuelles.

Tableau 09 : Caractéristiques lipidiques du germe meunier (**ADRIAN , 2004**).

	g/100 g	% de la phase lipidique
Lipides bruts	10.75	100
Lipides apolaires	8.25	81
Phospholipides	1.55	14.5
Insaponifiable Dont :	0.5	4.5
✧ stérols + alcools	0.3	
✧ tocophérols	0.07	
✧ hydrocarbures	0.03	

Le germe de blé renferme des acides gras tels que l'acide linoléique, l'acide linoléique ainsi que des acides gras essentiels.

L'huile de germe de blé bénéficie des propriétés importantes grâce à sa teneur insaponifiable, particulièrement riche en stérol. Elle présente aussi une activité anti-oxydante du fait de son contenu naturel en vitamine E, et elle présente une somme importante des acides gras essentiels. Selon (**Barnes, 1983**) la variation des teneurs lipidiques de germe peut être due à plusieurs facteurs :

- variation de blé
- degré de contamination du germe par le son.

II.3.5. Les enzymes

Les enzymes sont des protéines spécialisées dans la catalyse des réactions biologiques. Leur action est extrêmement spécifique d'une part, à l'égard du type de réaction à effectuer (hydrolyse, réduction, oxydation) et d'autre part de la structure et de la géométrie des substances concernées (**ARNAUD, 1985**).

Les enzymes, se localisent en grande partie dans la couche périphérique et particulièrement dans la couche à aleurone et dans le germe (**DRAPRON, 1969**). Parmi les enzymes disponibles au niveau du germe on a surtout les lipoxygénases, lipases et les protéases (**TAYLOR, 1982 ; SUDHA et al, 2007 ; SRIVASTAVA et al, 2007**).

La répartition des enzymes dans le germe de blé est représentée dans le **Tableau 10**

Tableau 10 : Répartition des enzymes dans le germe de blé (**NURET, 1991**).

Enzymes	Germe
β- amylase	(Scutellum) ++
α- amylase	++
Lipase	+++
Protéase	+++
Phytase	(Scutellum) +
Lipo-oxygénase	+++
Oxydase	+++
Estérase	++

- +++ : Présence importante.
- ++ : Présence notable.
- + : Présence.

II.4. Extraction de germe en mouture du blé tendre :

Le germe de blé, de part sa teneur en huile et sa consistance plastique est aplati lors de son passage entre les cylindres lisses. De nombreux moulins disposent d'équipements spécialisés permettant de séparer le germe du son et des remoulages (**Boudreau et Menard, 1992**).

Sans système approprié, on ne peut séparer qu'une petite proportion des germes dont la grosse partie s'en va dans le son et les remoulages, après avoir été refusé avec les gros produits de broyage (**NURET, 1989**).

Une faible proportion de germe est brisée par les cylindres de broyage en particules suffisamment fines pour traverser les garnitures des appareils de blutage. Ce germe, qui se retrouve dans les semoules sassées, peut atteindre les cylindres lisses qui l'aplatissent, permettant ainsi de le séparer par blutage. Une quantité limitée de germe peut donc être recueillie par ce moyen.

Le taux d'extraction du germe dépend de plusieurs paramètres:

- Du Conditionnement.
- Des Appareils à cylindre: (nombres, inclinaison, épaisseur ...).
- Du Diagramme de mouture.
- Des caractéristiques physiques du blé.
- Des caractéristiques dimensionnelles du blé.
- Des appareils et des méthodes d'extraction utilisés.

L'extraction de germe de blé tendre au niveau de la minoterie « AMOUR » se fait de la manière suivante :

Après nettoyage et conditionnement des grains de blé tendre, celle-ci sont broyés en passant à travers les cylindres cannelés des broyeurs, ou ils seront fragmentés en particules plus moins grosses.

Les semoules ainsi produites sont réduites en farine en passant entre des cylindres lisses (claqueurs et convertisseurs) ; par contre les sons et les germes sont éliminés par sassage et tamisage (le germe est envoyé vers les sasseurs pour être à nouveau envoyé vers les claqueurs) afin de subir un aplatissage par les cylindres lisses. Puis dirigé vers le claqueur R3 ou atteint la limite maximale d'aplatissage et constitué donc le refus de tamis d'ouverture des mailles de 1250 micromètres ; ce refus est constitué par un mélange du germe et du fin son.

Le germe se présente sous forme de plaquettes écrasées minces de formes plus ou moins arrondies, avec une odeur caractéristique, une saveur sucrée et une couleur jaunâtre.

II.5. Importance de la stabilisation de germe de blé :

Lors de la séparation industrielle des germes de blé, sa structure se trouve altérée. Il s'ensuit une mise à découvert des substances actives, surtout des lipides, particulièrement riches en acides gras polyinsaturés. S'ils ne sont pas immédiatement stabilisés, ces lipides sont oxydés et dégradés par les enzymes lipolytiques du grain, se traduisant par un rancissement et une augmentation en acidité. Il s'avère nécessaire de stabiliser les germes de blé par une méthode appropriée aussitôt après le passage au moulin, afin de protéger leur richesse naturelle en substances biologiquement actives.

D'après (LEBET, 2004 ; ARSHAD et al 2007), il existe différents procédés de stabilisation des germes de blé. Les procédés les plus utilisés sont les suivants :

- L'extraction des lipides
- Le séchage
- traitement par Infra rouge
- Le pressage à froid
- La déshydratation par utilisation de tambours rotatifs
- Séchage sur lit fluidisé

II.6. Valorisation du germe de blé :

La valorisation de germe de blé, sous produit de meunerie, présente un double intérêt : sur le plan économique ainsi que sur le plan nutritionnelle et qualitatif. En effet, la récupération du germe de blé permet :

- La fabrication d'aliment diététique à haute teneur en protéines pour les enfants en croissance
- La fabrication d'aliments de régime et d'aliment à finalité thérapeutique
- La fabrication d'aliment à haute valeur énergétique
- L'enrichissement de certains aliments afin de constituer un produit de haute valeur énergétique
- Les huiles obtenues après délipidation sont des huiles très demandées que ce soit par les industries cosmétiques et pharmaceutiques et de traitement de cuirs
- Le tourteau récupéré peut lui aussi servir à l'enrichissement de certains produits tels que les biscuits, les pâtes alimentaires et les farines lactées (ANONYME, 2011)

Donc le germe peut être utilisé dans plusieurs domaines : le domaine cosmétique, le domaine thérapeutique et le domaine diététique.

II.6.1. Le domaine cosmétique :

C'est surtout l'huile de germe de blé qui peut être utilisée dans tous les produits cosmétiques finis, comme actif ou support de la phase grasse, sans limitation de proportion. On s'intéresse dans ce domaine à ses propriétés régénérantes résultant de sa forte teneur en insaponifiables et surtout en vitamine E. Elle est restructurante et renforce par conséquent la barrière cutanée. Elle participe ainsi au maintien d'une bonne hydratation de l'épiderme. L'huile de germe de blé est encore un excellent conditionneur cutané et participe, en formulation, à l'élaboration de la phase grasse. L'ensemble de ces propriétés en fait un ingrédient particulièrement recommandés dans :

- Des shampooings pour cheveux abîmés et fragiles,
- Des crèmes de jour pour peaux sèches et abîmées,
- Des crèmes antirides,
- Des huiles corporelles,
- Des baumes à lèvres,
- Des soins pour bébé (ANONYME, 2011).

II.6.2. Le domaine thérapeutique :

À l'énoncé des propriétés multiples et remarquables des nombreux éléments qui constituent le germe de blé, on peut avoir la tentation de considérer celui-ci comme une panacée capable de guérir toutes les maladies.

En effet il est conseillé la consommation régulière de germe de blé dans les cas suivants : allaitement, anémie, croissance, décalcification, déminéralisation, fatigue, frigidity, grossesse, rachitisme et tuberculose.

De plus, à titre préventif, étant donné la richesse du germe de blé en magnésium, sa consommation régulière est recommandée pour éviter une carence que l'on a de bonnes raisons, aujourd'hui, d'associer au développement du cancer (DARIGOL, 1978).

II.6.3. Le domaine diététique :

Dans la santé mondiale d'aujourd'hui, la nutrition aide à vendre de nouveaux produits alimentaires préparés à partir des nouvelles sources protéiques. Le germe de blé est l'un des suppléments protéiques potentiels pour la diète humaine. Il offre 3 fois plus de protéines de haute valeur biologique, 7 fois plus de gras, 15 fois plus de sucre et 6 fois plus des minéraux que l'endosperme de blé. En outre, le germe de blé est connu comme la plus riche source de

tocophérol et aussi comme une source en thiamine, riboflavine et niacine (**Anonyme, 2011**). Le germe de blé est commercialisé soit en farines ou paillettes (saveur douceâtre, peu agréable), soit sous forme de produits enrichis

- Petit déjeuners au germe de blé,
- Farine au germe de blé,
- Farine composée,
- Pain au germe de blé,
- Biscuits au germe de blé, galettes (**Anonyme, 2011**).

Donc on peut considérer que le germe de blé comme un ingrédient largement utilisé dans plusieurs types d'aliments.

- Les repas froids : le germe de blé est une source économique de haute qualité et de bonne valeur protéique. Il peut être servi comme un précieux composant dans quelques aliments ou dans les repas froids. En effet, différents genre de biscuits, déjeuners céréaliers etc.
- Les pates alimentaires : le germe de blé est utilisé pour enrichis les macaronis, Ce qui permet le développement de nouveaux spécialités alimentaires (**GARUDA INTERNATIONAL, 1998**).
- Les aliments infantiles : le germe de blé à une haute valeur biologique, une bonne digestibilité, une couleur et une saveur agréable, l'ensemble de ces attributs rend le germe de blé un ingrédient acceptable pour les aliments infantiles.
- Les produits diététiques spéciaux : la couleur et la saveur du germe de blé biologique rendent celui-ci comme un idéal supplément dans les formulations alimentaires. Sa basse teneur en sodium le rend favorable pour les régimes à faible teneur en sodium.
- Les aliments cuits : le germe de blé délipidé est un additif nutritionnel parfait pour les pains, les brioches, les gâteaux ...etc. (**GARUDA INTERNATIONAL, 1998**)

En outre de l'utilisation du germe de blé comme un ingrédient alimentaire, on peut bénéficier de ses propriétés nutritionnelles en consommant un autre produit « le blé germé », en faisant germer nous même le blé et. En effet pour les raisons que nous venons de développer il existe une synergie du produit naturel dans sa mystérieuse totalité et cette synergie propre au fruit de la germination du blé doit nous inciter à consommer le blé germé plutôt que le germe seul (**DARIGOL, 1978**).

III.1. Définition du biscuit :

C'est aux Français que revient la désignation du terme «biscuit», signifiant «bi-cuire», c'est-à-dire cuire deux fois. En effet, le procédé d'alors exigeait que les pâtons soient d'abord cuits comme le pain, puis placés dans les compartiments au-dessus du four pour réduire leur teneur en humidité (**Boudreau et Ménard, 1992**).

D'après (**Kiger et Kiger, 1968**), le biscuit est un aliment à base de farines alimentaires, de matière sucrantes, de matière grasse, et de tous autres produits alimentaires, parfums et condiments autorisés, susceptibles, après cuisson de conserver ses qualités organoleptiques et commerciales pendant une durée supérieure à un mois, et pouvant dépasser une année (biscuiterie sèche) ou un temps limité en fonction d'un débit régulier assez rapide (pâtisserie industrielle).

III.2. Classification des biscuits :

Il n'existe pas de classification officielle des biscuits en raison de la très grande variété des productions et de la multiplicité des composants pouvant entrer dans les diverses fabrications (**FEILLET, 2000**).

Cependant, Les biscuits peuvent être différenciés selon :

1. la pâte :

Par cette méthode, les biscuits sont gracieusement classés ou divisés en deux principaux groupes : biscuits à pâte dure, biscuit à pâte molle).

- **Biscuit à pâte dure :** Ils contiennent généralement un faible pourcentage en matières grasses et du sucre, ainsi qu'un fort pourcentage d'eau additionnée à la fabrication du produit (**Kiger et Kiger, 1968**).
- **Biscuit à pâte molle :** Ces biscuits ont une teneur en matières grasses et en sucres hautement combinée, avec une faible addition en humidité. En règle générale, la pâte molle passe du pétrin à la machine à former (**Kiger et Kiger, 1968**).

2. la forme :

Les caractères de la pâte déterminent ou limitent la méthode de coupe employée ; il existe des pâtes qui peuvent être coupées selon la multitude de méthodes chacune peut donner non seulement une apparence différente mais aussi une structure différente aux biscuits. Dans cette catégorie, la forme du biscuit varie selon le type de la pâte.

- Pate dure : coupe par presse, roto découper.
- Pate molle : moulage rotatif (**Kiger et Kiger ,1968**).

3. la composition :

En fonction de leur composition, on distingue trois types de biscuits :

- Les biscuits riche en glucides complexes comme les biscuits secs, les biscuits cuits a thé, les petits- beurre ... leur valeur énergetiques est d'environ 1700 KJ (400 Cal/100 g).
- Les biscuits riches en glucides simples, tels que les biscuits confiturés, les gouters aux fruits, les boudoires, le pain d'épices, les barquettes, les tartelettes aux fruits, les biscuits roulés, les gaufrettes, les meringues. Leur valeur énergetiques est d'environ 1800 KJ (430 Cal /100 g).
- Les biscuits riches en lipides comme les cookies, les brownies, les biscuits chocolatés, les tartelettes au chocolat, les sablets, les galettes, ... leur valeur énergetique est environ 2100 KJ (500Cal/100g) (**FREDOT; 2005**).

III.3. Les ingrédients utilisés pour la fabrication des biscuits :

III.3.1. La farine :

Malgré la diversité des produits rencontrés en biscuiterie, la farine de blé reste la matière première principale de ce secteur. Elle constitue un élément clé de la qualité des produits de biscuiterie. C'est par exemple le cas des biscuits secs et des goûters, qui représentent la part la plus importante des références biscuitières, dont la farine représente plus de 60 Kg par 100 Kg de biscuit (**MOHTEDJI-LAMBALAI, 1989 ; BOUDREAU ET MENARD, 1992 ; FEILLET, 2000**).

La valeur biscuitière d'une farine se juge d'après son aptitude à donner une pâte machinable, qui selon **KIGER et KIGER (1968)** résiste à un certain degré de brisure et pouvoir s'étendre en couche minces sans se casser ou craqueler à la surface, en donnant un produit fini de qualité.

Les conditions d'utilisation de la farine biscuitière par les professionnels de la biscuiterie conduisent donc à des attentes qualitatives diverses, qui vont dépendre de nombreux facteurs, comme la quantité et la qualité des protéines, état de l'amidon,....cette valeur technologique dépend principalement : des caractéristiques intrinsèques du blé (génotype et phénotype) ou de la farine, lesquelles sont lies à la composition biochimique et aux tests technologiques. Elle peut être appréciée soit par un test direct (Test de cuisson par exemple), soit par des tests

indirects (tests rhéologiques, analyses physico-chimiques : taux de protéines, taux de gluten, taux d'amidon endommagé...)

❖ **Caractéristiques physico-chimiques de la farine biscuitière :**

Les caractéristiques de ce que l'on considère habituellement être celles d'une farine biscuitière sont données au tableau 11:

Tableau 11: caractéristiques d'une farine biscuitière (**FEILLET, 2000**).

Blé d'origine	Friable (<i>soft</i>)	P⁽¹⁾	45-55
Cendres (%MS)	0,40-0,45	G⁽¹⁾	20-22
Protéines (%MS)	9-11	P/L⁽¹⁾	0,45-0,55
Amidon endommagé	12-16	W⁽¹⁾	130-150

⁽¹⁾Alvéographe ;

L'industrie biscuitière recherche des farines extraites de blés friables et de faible teneur en protéines (moins de 11%) , elle doit être de faible force boulangère, extensible et peu élastique car si la farine est trop forte, l'élasticité du gluten provoque un rétrécissement de la pâte après laminage et au four (**FEILLET, 2000**).

III.3.2. La matière grasse :

Les matières grasses constituent les produits les plus riches du point de vue énergétiques. Elles apportent sensiblement plus du double de calories que les matières sucrées ; outre leur valeur nutritive, les matières grasses présentent une importance (**BOUDREAU et MENARD, 1992**) :

- Elles augmentent la plasticité de la pâte, ce qui se traduit par une diminution de sa consistance.
- Elles contribuent à donner une saveur particulière aux biscuits et influent sur leur coloration.
- Les corps gras augmentent la formation du gluten en le rendant plus lâche et donnent aux biscuits leurs friabilités.
- Agent de transmission de la chaleur.
- Enfin, leurs présences en quantités assez fortes assurent une cuisson plus rapide.

En biscuiterie, on utilise les matières grasses suivantes :

- la margarine
- Les matières grasses végétales : l'huile de palme, l'huile de noix de coco, l'huile de soja.

III.3.3. Le sucre :

Le sucre est le troisième élément important dans la fabrication des biscuits. Il représente de 15 à 25 % dans la formule d'un biscuit sec, et plus de 25 % en pâtisserie industrielle (**FEILLET, 2000**).

- Le sucre joue les rôles d'agents de conservation (humectant), d'agent aromatique, d'agent texturant et d'agent colorant.

- La matière sucrante aide à retarder le rancissement de la matière grasse et la multiplication microbienne dans les biscuits.

- La haute teneur en matière sucrante d'un biscuit favorise une pression osmotique élevée et diminue l'activité de l'eau ce qui prolonge la durée de conservation.

- La matière sucrante est utilisée pour son effet sur la saveur du produit, la saveur sera plus ou moins prononcée selon le pouvoir sucrant.

- Les sucres les plus utilisées en biscuiterie sont : le sucre raffiné (saccharose), la mélasse, les sirops de maïs et du fructose, le sucre invertis et le glucose (**BOUDREAU et MENARD, 1992**).

III.3.4. L'eau :

La qualité microbiologique et la teneur en sels minéraux de l'eau sont importantes en biscuiterie. L'eau agit dans la pâte et exerce une conception sur trois matières premières :

- L'amidon pour former les empois.
- Le sucre pour donner un sirop.
- Les protéines pour donner les réseaux glutineux.

L'eau favorise les réactions entre la farine et les autres ingrédients de la pâte. Elle est également le milieu des réactions chimiques de la plupart des ingrédients secondaires, notamment les levains chimiques (**BOUDREAU et MENARD, 1992**).

III.3.5. Les matières levant :

Les levains chimiques sont utilisés pour lever les pâtes. Varier leur pH (plus il sera élevé, plus la couleur du produit fini sera foncée) et leur donner, après cuisson. Une structure alvéolaire plus ou moins développée selon la formule de la pâte et la nature de l'agent levant utilisé.

Le développement de la structure alvéolaire a lieu surtout durant la cuisson par le dégagement de gaz carbonique et ammoniacal, la dilatation de l'air et la vaporisation de l'eau de milieu.

Parmi les matières levant on a : bicarbonate de sodium, bicarbonate d'ammonium, pyrophosphates (**Boudreau et Ménard, 1992**).

III.3.6. Le lait :

Le lait est un élément hautement nutritif et physiologiquement équilibré. Il contient des matières albuminoïdes (caséine, lactalbumine et lactoglobuline), des matières grasses, des substances sucrées (lactose) et des substances minérales. Les produits laitiers utilisés en biscuiterie sont très divers on distingue : le lait en poudre, le lait entier, le lait écrémé, le lactosérum (**Kiger et Kiger, 1968**).

Le lait peut remplacer l'eau dans certaines recettes de biscuit. Il mouille la pâte, améliore la structure et la texture de la pâte, stimule la saveur acquise aux biscuits, accélère leur cuisson, leur donne une couleur marqué après cuisson et apporte des protéines (**COUTOULY et al, 1998**).

III.3.7. Le sel :

Presque toutes les recettes de biscuits utilisent le sel mais a faibles doses. Maximum 1% pour les biscuits sucrés, 1.2% pour les salés.

Cet ingrédient est ajouté dès le début des opérations (mouillage) car ceci permet la dissolution des grains de sel pendant les étapes de pétrissage.

Le sel fait ressortir plus nettement les parfums et fait mieux apparaitre le gout du gras introduits aux mélanges ; aussi il donne la saveur et améliore la coloration des produits cuits. Il modifie les propriétés du gluten (ténacité et plasticité) par une absorption maximale d'eau dans un minimum de temps (**KIGER et KIGER, 1968**).

III.3.8. La lécithine :

La lécithine est un phospholipide rencontré dans de nombreux tissus animaux et végétaux notamment dans le jaune d'œuf et le soja. Il est considéré comme l'émulsifiant le plus utilisé en technologie alimentaire.

La lécithine se présente sous forme de masse amorphe, jaune pale a brune, insoluble dans l'eau soluble dans l'alcool a 9°C, le chloroforme, l'éther, mais a peu prés insolubles dans l'acétone (**KIGER et KIGER, 1967**) .

L'utilisation des lécithines repose sur les trois propriétés fondamentales suivantes (**KIGER et KIGER, 1967**) :

- Elles réduisent la tension superficielle et facilite donc l'émulsion.
- Elles réduisent la viscosité des corps aux quels on les ajoute, elles facilitent l'incorporation de sucre au beurre de cacao et facilitent ainsi la cristallisation de la graisse en petits cristaux.
- La lécithine s'emploie à des doses très faibles et ce pourcentage dépend de la quantité de matières grasse de la formule. Pour la lécithine pure, la dose d'emploi est de 1 a 2% de la matière grasse.

III.3.9. LES ŒUFS :

Les œufs interviennent comme liant ; ils fournissent de la flaveur ou saveur, de la couleur et des protéines aux biscuits. L'air incorporer dans les œufs battus, allège la pâte (**COUTOULY et al, 1998**).

III.3.10. L'extrait de malt :

L'extrait de malt est un liquide visqueux, ne contient ni de colorant ni d'autres adjuvants de conservation, c'est un apport de sucre. Il est produit a partir de l'orge a un pouvoir sucrant très faible mais comprend environ 50% de maltose (**ANONYME, 2008**).

III.3.11. L'arome de vanille :

La vanille peut être utilisée en biscuiterie sous forme de poudre. Les principaux rôles d'arome de la vanille, donne une odeur agréable et un bon gout au produit fini (**ANONYME, 2007**).

III.3.12. Amidon de maïs :

L'amidon de maïs présente sous forme d'une poudre blanche très fine, insolubles dans l'eau froide et qui crisse de façon particulière quand on l'écrase sur les doigts (**BOUDREAU et MENARD, 1992**).

III.3.13. Les déchets de biscuits :

L'utilisation des déchets de biscuits est couramment employée en biscuiterie par mesure d'économie. Certains déchets bien fait ou non, trop cuit ou pas assez qui ont été passé au four peuvent être utilisés.

Les déchets cuits sont généralement réduits en fine poudre appelée poudre ou farine de biscuit. Le taux d'addition dépend du type de déchets employés et de la nature de la pâte à laquelle ils sont ajoutés. Il est recommandé de garder chaque type de poudre séparément. Il faut mélanger les poudres de biscuits dans le même type qu'on fabrique parce que les poudres mélangées ou indéterminées peuvent créer des problèmes. On peut ajouter le déchet de biscuit dans la pâte jusqu'à 10% de poids de farine. (KIGER et KIGER, 1967).

III.4. Procédé de fabrication des biscuits :

La fabrication industrielle comporte une série d'opérations: réception et entreposage des matières premières, préparation des formules, malaxage, façonnage de la pâte, cuisson, refroidissement, décoration, emballage et entreposage des produits finis.

III.4.1. Réception et entreposage des matières premières :

La réception des matières premières est une fonction capitale d'une bonne fabrication, le service commercial doit choisir les qualités meilleures pour l'usage, celles-ci doivent être contrôlées pour vérifier leurs conformités à ceux qui sont demandés et assurer le bon état de conservation, c'est la fonction de laboratoire de contrôle. Mais en outre, les matières premières doivent être stockées convenablement jusqu'au moment où on devra les utiliser (KIGER et KIGER, 1967).

III.4.2. Préparation de la formule :

Le procédé de fabrication de biscuit est établi par l'entreprise (KIGER et KIGER, 1967).

III.4.3. malaxage :

Les malaxeurs utilisés dans la préparation de la pâte exercent généralement une action de fouettage et de coupage. Le but premier du malaxage de la pâte est d'amener en une dispersion homogène les différents ingrédients et de minimiser le développement du gluten de la farine. Soulignons qu'une des conditions de succès en biscuiterie est d'obtenir une pâte dont la consistance permet la production de biscuits de dimension (diamètre et épaisseur) et de symétrie (forme et motifs) uniformes (BOUDREAU et MENARD, 1992).

L'ordre d'addition des ingrédients de la formule varie selon le type de biscuit et la machine. On distingue :

- a) Méthode directe

Comme son nom l'indique cette méthode qui n'a qu'une méthode de préparation, consiste à l'incorporation de l'ensemble des ingrédients a la fois (**HOSNENEY, 1986**).

b) Méthode indirecte (le crémage) :

consiste à pré mélanger la matière grasse contenant les surfactants et les colorants avec certains ingrédients de la formule telle la matière édulcorante (granulée ou en sirop), puis l'incorporation des autres ingrédients solubles dont le lait en poudre, le sel, les levains chimiques et l'eau pour former une masse crémeuse avant l'addition de la farine. Ce mode favorise la formation d'une émulsion grossière du gras, du sucre et des autres ingrédients en prévenant un contact direct de l'eau avec la farine. La préparation d'une telle « crème » retient l'eau d'une façon plus ou moins libre et atténue le développement du gluten de la farine (**BOUDREAU et MENARD, 1992**).

III.4.4. Le façonnage de pate :

La mouleuse rotative façonne plus facilement et plus efficacement les pâtes. Contrairement aux machines à découper, la pâte n'est pas laminée par les rouleaux, elle alimente directement la mouleuse afin d'obtenir les formes et les motifs désirés. La pâte à mouler doit être de texture granuleuse, peu humide et riche en gras. Sa texture sera grossière car on doit limiter le plus possible le développement du gluten de la farine au malaxage. On recherchera donc une pâte à consistance peu élastique.

Après façonnage, les pâtons sont acheminés par convoyeur au four à bande. À cause de la pression appliquée pour forcer la pâte dans les moules du rouleau métallique, le produit fini est compact. Ces biscuits ou bases possèdent une symétrie exacte et une dimension identique, ce qui facilitera leur décoration ultérieure. (**BOUDREAU et MENARD, 1992**).

III.4.5. Cuisson :

Le procédé de cuisson exige des équipements flexibles munis des dispositifs pour ajuster rapidement la température et contrôler la durée de cuisson de la pate. Leurs fours multizones munis de plusieurs bruleurs, contrôlent certaines variantes dont l'intensité de la chaleur, mais oblige la surveillance continue de l'expansion des pâtons durant la cuisson.

L'opérateur doit régler la température aux déférentes étapes de cuisson. Dans l'industrie des biscuits, les pâtons sont cuits directement sur une courroie métallique sans fin. L'importance, lors de la cuisson réside en un contrôle très rigoureux de diamètre et de l'épaisseur des

produits finis. Il faut éviter que les biscuits ne s'étalent trop pour ne pas déformer les motifs ou tout simplement pour s'assurer d'une bonne dimension en vue de l'emballage. Il faut aussi obtenir la coloration caractéristique de biscuit (**BOUDREAU et MENARD, 1992**).

III.4.5.1. Les étapes de cuisson des biscuits :

Pendant la cuisson, les biscuits subissent automatiquement trois étapes : développement, solidification et coloration (**BOUDREAU et MENARD, 1992**).

a- Développement :

Dès son entrée dans le four, le pâton forme en surface un film mince qui épaissit au fur à mesure de la cuisson grâce à l'évaporation de l'eau sur le dessus de pâtons, ce film à la surface de pâtons doit être élastique, le degré d'élasticité sera directement proportionnel à la température de four, si cette dernière est très élevée, supérieur à 38°C, notamment à l'entrée de four, la pellicule deviendra très épaisse et le gaz carbonique, l'air et la vapeur d'eau resteront prisonniers dans la structure causant inévitablement des fissures en surface. Quant aux particules des gras, elles fondront aussitôt que leur point de fusion soit atteint une légère tendance à se retrouver dans la structure externe au lieu de demeurer dans la même position occupée dans la structure initiale du pâton. Le gaz carbonique formé à l'intérieur de la pâte sous l'influence de la chaleur (32 et 99°C), augmentera le volume de pâton en étirant le morceau de pâte (**Boudreau et Ménard, 1992**).

b- Solidification :

La gélatinisation de l'amidon joue un rôle important dans la structure interne du biscuit. Selon le degré d'humidité de la pâte, la gélatinisation commence à 52°C et se poursuit jusqu'à 93°C, au fur à mesure de la cuisson, il y a l'évaporation d'arômes et la migration de l'eau non seulement des pâtons vers l'atmosphère ambiante du four mais aussi du gluten vers l'amidon. Les protéines de la farine, des œufs, du lait et d'autres ingrédients commencent à se dénaturer à partir de 63°C selon leurs natures, cette dénaturation qui assurera l'ossature ou la rigidité de biscuit, à environ 74°C, les protéines subissent un processus de dénaturation irréversible : elles deviennent moins solubles et moins extensibles, ce qui marque la dernière étape de l'expansion du pâton et donne l'aspect final du biscuit (**BOUDREAU et MENARD, 1992**).

c- La coloration :

Le brunissement de la surface est causé par la caramélisation du sucre, la réaction de Maillard, la dextrinisation de l'amidon et le rôtissage de la partie farineuse. C'est aux alentours de 149°C que débute la caramélisation de sucre, puis entre 188 à 205 °C, l'amidon se convertit progressivement en dextrans. Les produits des réactions de caramélisation, de Maillard, donnent une panoplie de couleurs et saveurs très agréables. Même si la dénaturation des protéines entraîne inévitablement une baisse de la valeur nutritive, le gain en saveur est fort appréciable. La formation de dextrine sur la surface de produit, toute en contribuant au phénomène de caramélisation, assure l'apparence luisante tant recherchée par le biscuitier.

En résumé, deux éléments doivent être contrôlés par le biscuitier pendant la cuisson : la formation des gaz et la gélification. Les biscuitiers exercent un contrôle efficace sur l'action des levains chimiques (bicarbonate de sodium, acide tartrique, bicarbonate d'ammonium) en utilisant un mélange adéquat et une quantité suffisante pour provoquer l'expansion voulue de biscuit (**BOUDREAU et MENARD, 1992**).

III.4.6. Refroidissement et ressuage :

A la sortie de four, on laisse ressuer les biscuits sur le long de convoyeur cheminant à l'air libre de l'usine. Ensuite, les biscuits peuvent être emballés pour la vente ou mis en attente dans les cartons. Après la cuisson, le refroidissement des biscuits doit se faire graduellement pour éviter la formation d'une croûte épaisse qui raffermirait trop la surface de biscuit et ferait une barrière à l'évaporation de l'eau de l'intérieur vers l'extérieur. (**BOUDREAU et MENARD, 1992**).

III.4.7. Le conditionnement :

Une fois refroidis, le biscuit sera ramassé, et mis dans la conditionneuse ou le chargement s'effectue manuellement. Ces derniers sont emballés dans du polypropylène et du papier sulfurisé et en dernier seront mis dans des cartons (**BOUDREAU et MENARD, 1992**).

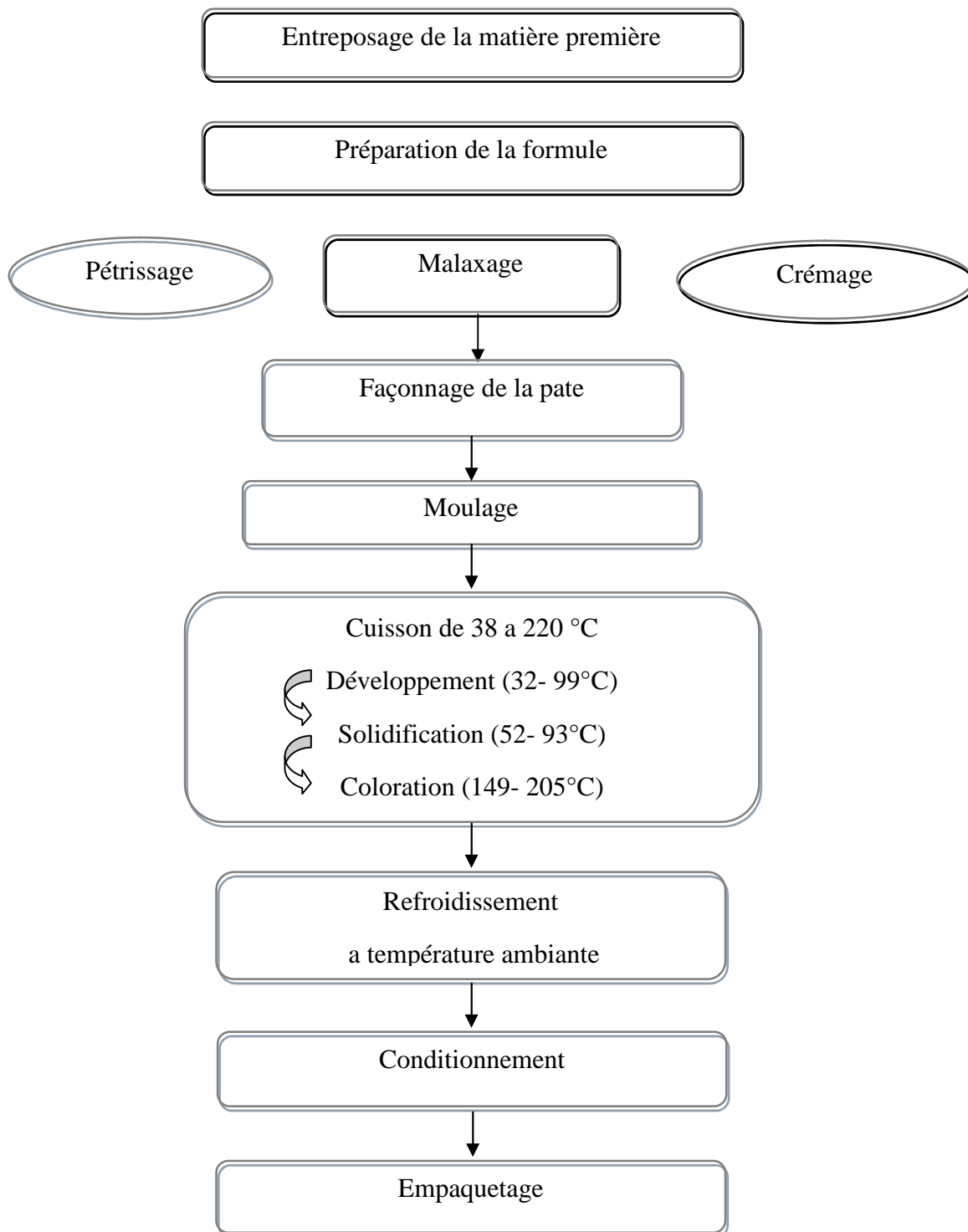


Figure 07 : diagramme de fabrication de biscuit (Originale).

I.1. Objectif :

Le but de notre travail est l'étude des caractéristiques biochimiques du germe de blé tendre, obtention et étude des caractéristiques physico-chimiques, technologiques et microbiologique des farines (la farine de blé tendre, la farine de germe de blé tendre ainsi que la farine de germe de blé tendre incorporées a différents pourcentages (5, 10 ,15 et 20%) a la farine de blé tendre) pour l'essai d'incorporation en biscuiterie.

Le biscuit fabriqué nécessite des analyses microbiologiques, physiques et sensorielles pour assurer sa qualité nutritionnelle.

Notre étude a été réalisée dans les lieux suivants :

- Les analyses biochimiques et physicochimiques ont été effectuées pour certaines au niveau de laboratoire de l'unité BIMO (Baba Ali) de wilaya d'Alger durant une période allant de 07 Avril au 30 Juin 2013. Les autres analyses au niveau de laboratoire de technologie des céréales (C.R.I.A.A).
- Les analyses microbiologiques de la matière première et le produit fini ont été effectués au niveau de laboratoire d'hygiène de wilaya de Blida.
- Les analyses technologiques sont réalisées au niveau de laboratoire de la meunerie AMOUR (Mouzaia) et au niveau de laboratoire de la société des pates industrielles (SOPI) de BLIDA.
- L'essai de fabrication des biscuits est effectué au niveau de la section de production de l'unité « BIMO »
- Les analyses sensorielles ont été faites au niveau du département d'agronomie (université de Blida).

I.2. Matériel biologique :

Notre matériel végétal est une farine de blé tendre commerciale à usage biscuitier et de germe de blé tendre.

Le germe de blé provient de la minoterie « AMOUR » en date de 19 février 2013, cet échantillon a été récupéré a partir d'un mélange de blé tendre de différentes variétés (mélange de blé tendre local et importé).

Le germe de blé a été récupéré au cours de la phase de claquage, précisément au niveau du claqueur N °03 après avoir subi un aplatissement. Il est extrait à ouverture des mailles de 1250 micromètres, et grâce a l'existence des particules de sons et d'amande qui adhèrent au

germe, nous avons utilisé deux tamis d'ouverture de maille de 1600 et 1000 micromètres afin d'obtenir une pureté en germe de blé maximale d'environ 98%.

Le germe de blé tendre étudié est présenté par la figure 08



Figure 08 : germe de blé tendre (originale).

I.2.1. Préparations des échantillons :

a. La farine de blé tendre :

La farine biscuitière utilisée dans les différents types d'analyses est une farine courante de blé tendre de la marque « MIB ». (Figure 09)

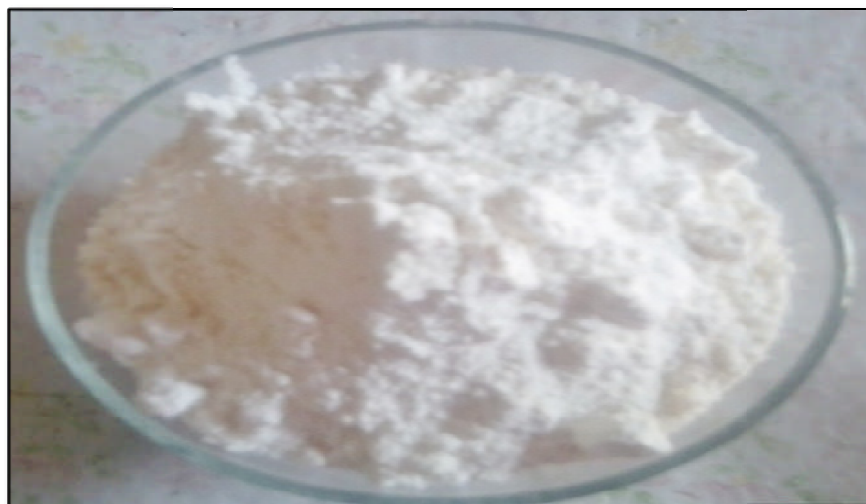


Figure 09 : farine de blé tendre (originale).

b. La farine de germe de blé :

Le germe après récupération subit les opérations suivantes :

✚ Stabilisation thermique :

Après la récupération de germe de blé du moulin, sa durée de vie est très limitée à cause de sa richesse en lipides, de sa teneur en humidité et de sa richesse en enzymes. Le germe de blé pour être stabilisé subit un traitement thermique pour réduire son humidité et pour inhiber les enzymes de dégradation.

Le protocole retenu est celui de **ARSHAD (2007)** cité par **ABOUDAOU (2011)** qui consiste à placer le germe dans un four ventilé à 130 °c, sous agitation pendant 25 minutes.

Vu le manque du four ventilé au niveau de laboratoire, le séchage a été mené dans l'étuve à 130°C pendant 25 min.

✚ Broyage de germe de blé :

Cette opération a pour but de réduire les germes en particules de plus en plus fines. Après séchage du germe de blé, Le broyage est réalisé par un mixeur dont l'objectif est d'obtenir une poudre de germe ayant une granulométrie inférieure à 200µm.

✚ Tamisage et conditionnement :

Le produit broyé subit un tamisage à travers un tamis d'ouverture de maille de 200µm. Deux groupes de produits sont obtenus, les farines et les semoules. Ces dernières subissent un autre broyage et tamisage donnant à nouveau des farines et des semoules qui seront ainsi traitées trois fois.

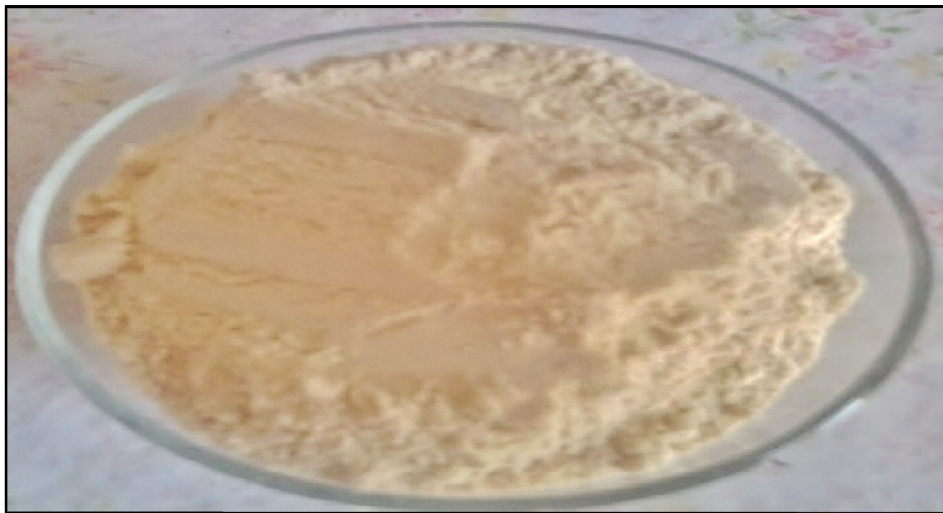


Figure 10 : farine de germe de blé tendre (originale).

c. Mélanges et taux d'incorporation :

La farine de germe de blé tendre a été incorporée avec la farine biscuitière selon les proportions présentées dans le tableau 12.

Tableau 12 : les différents taux d'incorporation de la farine de germe de blé

L'échantillon	Farine de blé tendre (g)	Farine de germe de blé (g)
témoin	100	0
F.G 5%	95	5
F.G 10%	90	10
F.G 15%	85	15
F.G 20%	80	20

d. Stockage :

Les échantillons de la farine de blé tendre, de la farine de germe de blé ainsi que les farines incorporées à différents pourcentage, ont été stockés dans des bocaux en verre à une température de 4°C, afin de préserver leurs caractéristiques initiales.

I.3. Protocole expérimental :

Le tableau 13 présente un résumé des analyses effectuées par échantillon.

Tableau 13: Tableau récapitulatif du travail expérimental

Echantillons	Analyses réalisés
Germe de blé tendre	➤ Analyses biochimiques : (teneur en eau, cendres, protéines totales, lipides totaux, glucides totaux).
Farines	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Analyses physico-chimiques : (teneur en eau, pH, cendres, acidité grasse, protéines). ➤ Analyses technologiques : (granulométrie, indice de chute, teneur en gluten, alvéographe Chopin). ➤ Analyses microbiologiques.
Biscuits	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Analyses microbiologiques. ➤ Evaluation expérimentale des biscuits (caractères physiques des biscuits). ➤ Evaluation sensorielle des biscuits.

I.4. Méthodes d'analyse :

I.4.1. Caractérisation biochimique du germe de blé tendre :

I.4.1.1 Teneur en eau :

a) Principe :

La méthode de référence pratique consiste en un étuvage a pression atmosphérique, a une température de 130-133°C, dans des conditions opératoires définies, la perte de masse observée est équivalente a la quantité d'eau présente dans le produit. Elle est effectuée selon la méthode normalisée en Algérie. NA/1133/1990.

b) Mode opératoire :

- Prise d'essai : avant d'effectuer le prélèvement sur l'échantillon de laboratoire, il est nécessaire de bien homogénéiser ce dernier.
- Peser à 1 mg près une quantité de 5g de produit dans la capsule préalablement séchée et tarée, couvercle compris.
- Les capsules doivent être manipulées à l'aide d'une pince.
- Introduire les capsules prises d'essai (couvercle compris) dans l'étuve une fois la température de 130°C est atteinte, laisser les capsules durant 2 heures.
- Une fois le temps de l'étuvage écoule, retirer les capsules de l'étuve rapidement et les laisser refroidir dans le dessiccateur (40 a 45 min).
- Quand les capsules atteignent la température de laboratoire, peser les capsules a 1 mg près.
- On effectue deux analyses pour chaque test.

c) Expression des résultats :

La teneur en eau en % est donnée par la formule suivante :

$$\text{Teneur en eau en \%} = \frac{M_0 - M_1}{M_0} \times 100$$

M_0 : masse de la prise d'essai (g).

M_1 : masse de la prise d'essai après étuvage (g).

I.4.1.3. Teneur en cendres :

La teneur en cendres est déterminée selon la norme NA/732/1991 qui est en concordance technique avec la norme française NF.11.28.1985.

a) Principe :

Le principe repose sur l'incinération du produit dans une atmosphère oxydante à une température de 900°C (céréales et produits de mouture) jusqu'à combustion complète de la matière organique. La teneur en cendres est déterminée par la pesée du résidu.

b) Mode opératoire : (voir la figure 11)

- Peser à 1 mg près environ 5 g de produits dans une nacelle tarée dans laquelle on peut ajouter 1 à 2 ml d'éthanol.
- On place les nacelles et leurs contenu à l'entrée du four sur la porte de four jusqu'à ce que la matière s'enflamme, s'assurer que la combustion n'est pas trop rapide de façon à éviter la perte par protection de particules solides de substance.
- Incinération : placer les nacelles dans le four à 900°C jusqu'à la disparition des particules charbonneuses qui peuvent être incluses dans le résidu, en général le temps de l'incinération est de une heure et demie à deux heures (2 h).
- Retirer la nacelle de four et l'a mettre à refroidir dans un dessiccateur jusqu'à température ambiante (au bout de 30 min).

c- Expression des résultats :

Le taux de cendre est déterminé par la pesée du résidu, elle est exprimée en pourcentage par rapport à la matière sèche.

$$\text{Taux de cendre \%} = M_1 \times \frac{100}{M_0} \times \frac{100}{100 - H}$$

Où :

M_0 : la masse de la prise d'essai(g).

M_1 : la masse du résidu(g).

H : la teneur en eau de l'échantillon (%).

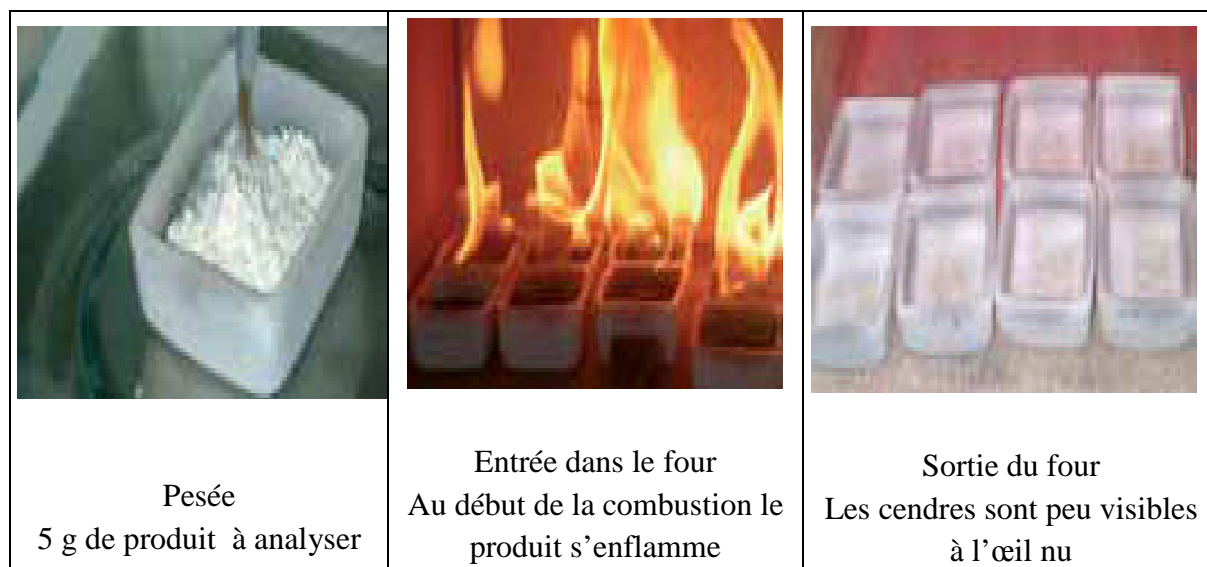


Figure 11: différentes étapes de détermination de taux de cendres (INBP ; 2005)

I.4.1.5. La teneur en protéines totales

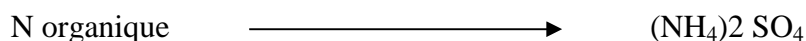
a- Principe :

La teneur en protéines totales est déterminée après dosage de l'azote total par la méthode de **KJELDAHL** selon la norme **AFNOR NF V03-750 (1999)**, dont le principe consiste à minéraliser l'échantillon par l'acide sulfurique concentré en présence d'un catalyseur. L'azote organique est ainsi transformé en azote ammoniacal, l'ammoniac est déplacé par la lessive de soude, l'azote est dosé après l'avoir piégé dans de l'acide borique en présence d'un indicateur coloré.

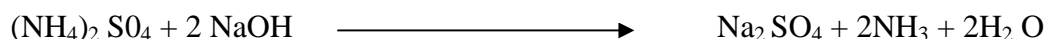
b- Mode opératoire :

Peser 2g de l'échantillon, et l'introduire dans un matras à minéralisation ; on ajoute 2g de catalyseur puis 20ml de l'acide sulfurique concentré (H_2SO_4), on homogénéise le contenu du tube et on place le matras dans un logement de bloc chauffant pendant une durée de 3 heures jusqu'à l'impidité totale de la solution.

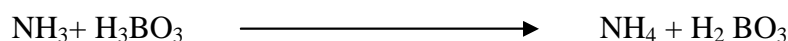
La minéralisation permet la transformation de l'azote organique en sulfate d'ammonium sous l'action de l'acide sulfurique concentré à chaud en présence du catalyseur.



Après refroidissement du matras contenant la solution limpide obtenue, y ajouter 75ml d'eau distillée puis refroidir à nouveau, 80ml de solution d'hydroxyde de sodium à 33% sont versés dans le matras. Au cours de distillation l'azote ammoniacal est entraîné par la vapeur d'eau est recueilli dans un erlenmeyer de 150ml contenant la solution d'acide borique et d'indicateur coloré.



Après environ 4 minutes de distillation, on constate un virage de la couleur rouge au bleu.



Le titrage s'effectue à l'aide d'une solution sulfurique titrée N/10 contenue dans la burette de précision, jusqu'au virage rose de la solution distillée.

c- Expression des résultats :

La teneur en protéines exprimée en pourcentage par rapport à la matière sèche est donnée par la formule suivante :

$\text{La teneur en protéines (\%)} = \frac{0.0014 \times V \times 100 \times K}{M} \times \frac{100}{100 - H}$

V : volume en ml, de la solution d'acide, versé à la burette lors du titrage.

M : masse en gramme, de la prise d'essai.

K : coefficient de conversion, dans le cas du blé et produits dérivés : K = 5,7.

H : la teneur en eau de l'échantillon (%).

I.4.1.6. La teneur en lipides totaux :

✓ Principe :

La teneur en lipides totaux est déterminée selon la **norme AFNOR NFV03-713 (1984)**.

L'analyse consiste à :

- L'extraction de la matière grasse par de l'hexane réalisée dans un appareil d'extraction de type **SOHXLET** pendant 5heure;
- L'élimination de l'hexane par séchage de l'extrait lipidique dans une étuve.

✓ **Mode opératoire :**

- Sécher le ballon de 500ml à l'étuve à 150°C pendant une heure,
- Refroidir le ballon au dessiccateur pendant 30 min,
- Peser le ballon puis introduire 20g d'échantillon dans la cartouche de papier filtre,
- Placer la cartouche avec la prise d'essai à l'intérieur de l'appareil Soxhlet,
- Verser 250ml de l'hexane dans le ballon,
- Chauffer le ballon sur le chauffe ballon pendant 4 heures jusqu'à l'épuisement de la matière grasse
- Après, éliminer le solvant du ballon par distillation,
- Sécher le résidu du ballon dans une étuve à 70-80°C,
- Refroidir le ballon au dessiccateur pendant 30mn,
- Peser le ballon avec l'huile,
- Répéter l'opération de séchage jusqu'à l'obtention d'un poids constant du ballon.

✓ **Expression des résultats**

La teneur en lipides totaux en g pour 100 g de produit sec est calculée par la formule suivante :

$$\text{Taux de lipides (\%)} = M_1 \times \frac{100}{M_2} \times \frac{100}{100 - H}$$

M_1 : masse en g du résidu lipidique ;

M_2 : masse en g de la prise d'essai ;

H : teneur en eau de l'échantillon en % de la masse humide.

I.4.1.7. La teneur en glucides totaux

La teneur en glucides totaux "G" en g pour 100 g de produit sec est calculée par différence :

$$G = 100 - (H + C + P + L)$$

H : teneur en humidité (en % de produit sec) ;

C : teneur en cendres (en % de produit sec) ;

P : teneur en protéines totales (en % de produit sec) ;

L : teneur en lipides totaux (en % de produit sec).

I.4.2. Caractérisation physicochimiques et technologiques des farines :**I.4.2.1. Méthodes d'analyses physicochimiques :**

I.4.2.1.1. Teneur en eau : elle se fait par la même méthode que celle du germe de blé tendre.

I.4.2.1.2. pH :

Le potentiel hydrogène est déterminés par la méthode de référence (NF V05-108 de juillet 1970). La méthode est applicable aux liquides, épais congelés ou non et au produits secs après dilution appropriée.

a. Mode opératoire :

- Etalonner le pH-mètre avec deux solutions au moins (acide et base).
- Placer 10g d'échantillon broyé convenablement, dans un bécher et ajouter au moins deux a trois fois son volume d'eau distillée.
- Mélanger bien la solution pour quelle soit homogène.
- Filtrer la solution.
- Prolonger l'électrode dans le filtre.

b. Expression des résultats :

- Lire directement le résultat sur le cadre du pH-mètre.

I.4.2.1.3. Teneur en cendres : elle se fait par la même méthode que celle du germe de blé tendre.

I.4.2.1.4. Acidité grasse :

La méthode utilisée porte la référence suivante : NA.1.1.82.1990

a. Principe :

La mesure repose sur un dosage colorimétrique. Les acides gras libres sont mis en solution dans l'éthanol à 95%. Après centrifugation, le surnageant est titré par l'hydroxyde de sodium.

b. Mode opératoire :**• Extraction de l'acidité :**

- Introduire dans 4 tubes 2.5g de produit, ajouter 15 ml d'alcool à 95%, fermer les tubes hermétiquement et agiter manuellement ou mécaniquement durant 20 minutes. Après verser chaque deux tube dans un godet, il faut veiller ce que l'extraction se fasse à une température voisine de 20°C.

- Procéder a deux centrifugation successives deux minutes chacune a une vitesse de 5000 a 6000 tours/min. les deux centrifugations sont bien plus efficaces qu'une seule de plans longue durée et permettant d'éliminer entre les deux séparations les produits déposés sur les long des parois.
- **Titration :**
 - Prélever sur le liquide surnageant 20 ml d'extrait éthanolique et les verser dans un erlenmeyer.
 - Ajouter 5 gouttes de phénolphtaléine.
 - Titrer la solution par l'hydroxyde de sodium N/20
 - On arrête le titrage lorsque la coloration vire à la rose pale.

Soit (V) le volume nécessaire pour le titrage.

- **Essai à blanc :**
 - ✓ Introduire 20 ml d'éthanol utilisé pour l'extraction de l'acidité des produits dans un erlenmeyer.
 - Ajouter 5 gouttes de phénolphtaléine.
 - ✓ Titrer l'acidité comme précédemment

Soit (V_1) volume de NaOH nécessaire.

c. Expression des résultats :

L'acidité grasse est exprimée en gramme d'hydroxyde de potassium par 100 g de matière sèche ou gramme de sodium par 100g de matière sèche.

L'acidité grasse est donnée par la formule suivante :

$$AG = 7.35 \times (V - V_1) \times \frac{T}{M}$$

- V : volume de NaOH (ml) de l'échantillon.
- V_1 : volume de NaOH (ml) de l'essai à blanc.
- T : normalité (0.05).
- M : matière sèche (100g/humidité).

I.4.2.1.5. Teneur en protéines

Pour les farines on a utilisé une méthode rapide pour le dosage des protéines. C'est une méthode d'analyse par spectroscopie infrarouge. On introduit une petite quantité de farine dans un appareil muni d'un faisceau infrarouge. Celui-ci visualise la teneur en azote et la convertit instantanément.

On lit le résultat directement sur le cadre de l'appareil.

I.4.2.2. Méthodes d'analyses technologiques :

I.4.2.2.1. Taux d'affleurement :

Le taux d'affleurement nous renseigne sur la répartition granulométrique de la farine, ce qui détermine la surface spécifique totale. Cette dernière est l'un des principaux facteurs influençant la cinétique d'hydratation d'une pâte (**CHARUN et MOREL, 2001**). Il est effectué selon la norme **NF V03-721(1994)**.

➤ **Principe**

Tamissage de 100 gramme de farine à travers d'une série de tamis d'ouverture de maille décroissante (200, 180, 150, 130 μm) pendant une durée de 5 minutes. Les refus de chaque tamis sont pesés avec une balance analytique.

➤ **Expression des résultats**

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

$$\text{Taux d'affleurement (\%)} = \frac{M_0}{M_1} \times 100$$

M_0 : masse du refus en (g).

M_1 : masse de l'échantillon en (g).

I.4.2.2.2. Indice de chute :

L'indice de chute de Hagberg mesure indirectement l'activité des amylases (enzymes dégradant l'amidon) qui peut devenir excessive dans le cas de présence de grains germés ou en voie de germination. Cette mesure a deux intérêts principaux.

- Evaluer la valeur d'utilisation des blés.

- Corriger éventuellement une activité amylasique insuffisante d'une farine en vue de son utilisation en boulangerie par l'ajout de malt ou d'amylases fongiques.

L'indice de chute est déterminé par la méthode de référence (**NA 1.1.76.1990**).

➤ **Principe :**

Le principe de la méthode repose sur la mesure de la viscosité d'un empois formé par la gélatinisation d'une suspension de farine ou de mouture complète 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 pour traverser la préparation sous l'effet de son propre poids.

➤ **Mode opératoire :**

- Faire passer la farine à travers un tamis, de façon à séparer les agglomérés.
- Détermination de la teneur en eau de l'échantillon pour essai ;
- Prendre comme prise d'essai la masse pesée à 0.05 près donnée dans le tableau spécifique à l'indice de chute, cette masse est calculée en fonction de la teneur en eau de manière qu'après l'ajout de 25 ml d'eau, le rapport sec à l'eau total (y compris l'eau de la prise d'essai) soit constant et qu'à une teneur en eau de 15.00 % la masse nominale de la prise d'essai soit de 7.00 g.
- Remplir le bain marie d'eau distillée jusqu'à 2 à 3 cm du bord supérieur, porter l'eau à l'ébullition pendant toute la durée de l'essai.
- Prolonger le tube muni de l'agitateur dans l'eau bouillante à travers l'ouverture du support tube.
- Déclencher le compteur automatique ou chronomètre dès que le tube touche le bas du fond du bain marie, fixer le tube et son bouchon à l'aide d'une attache tournante. Placer l'agitateur à sa position haute, la viscosimétrie par l'attache tournante, libérer l'agitateur exactement 60 secondes après le déclenchement du compteur.

➤ **Expression des résultats :**

L'indice de chute de Hagberg s'explique en secondes. Il globalise la durée d'agitation de la préparation (60 secondes) et celle de la chute de l'agitateur (**MOULINIER et BRETTE, 1995**).

- ◇ $IC < 180$ s : forte activité amylasique (Une farine hyper diastasique).
- ◇ 180 s $< IC < 280$ s : activité amylasique normale
- ◇ $IC > 280$ s : faible activité amylasique (Une farine hypo diastasique)
- ◇ Un indice de chute ne peut être inférieur à 60 sec .

I.4.2.2.3. Taux de gluten :

La méthode utilisée porte la référence : NF 1.1.24 ISO 5531.

➤ Principe :

L'appréciation de la quantité de gluten se fait par extraction de gluten est effectuée par malaxage mécanique ou manuellement et lavage d'un mélange de mouture (farine) avec une solution d'eau salée a 2.5%.

➤ Mode opératoire :(voir figure 12)

- Préparation de la pate : peser 33.33 g de la farine ; dans un mortier verser la farine et ajouter environ 16 ml d'eau salée puis former la pate.
- Lixiviation : laisser l'eau coulée goutte à goutte sur le pàton.
- L'amidon est éliminé et le gluten se soude à lui même, le malaxage est effectuée en comprimant légèrement le pàton et en remoulant la surface avec l'extrémité des doigts.
- Récupération des particules de gluten recueillies sur le tamis.
- Après lixiviation et essorage on obtient une boule de gluten humide.
- Placer la plaque chauffante pour sécher le gluten, ensuite le peser pour obtenir le poids de gluten sec

➤ Expression des résultats :

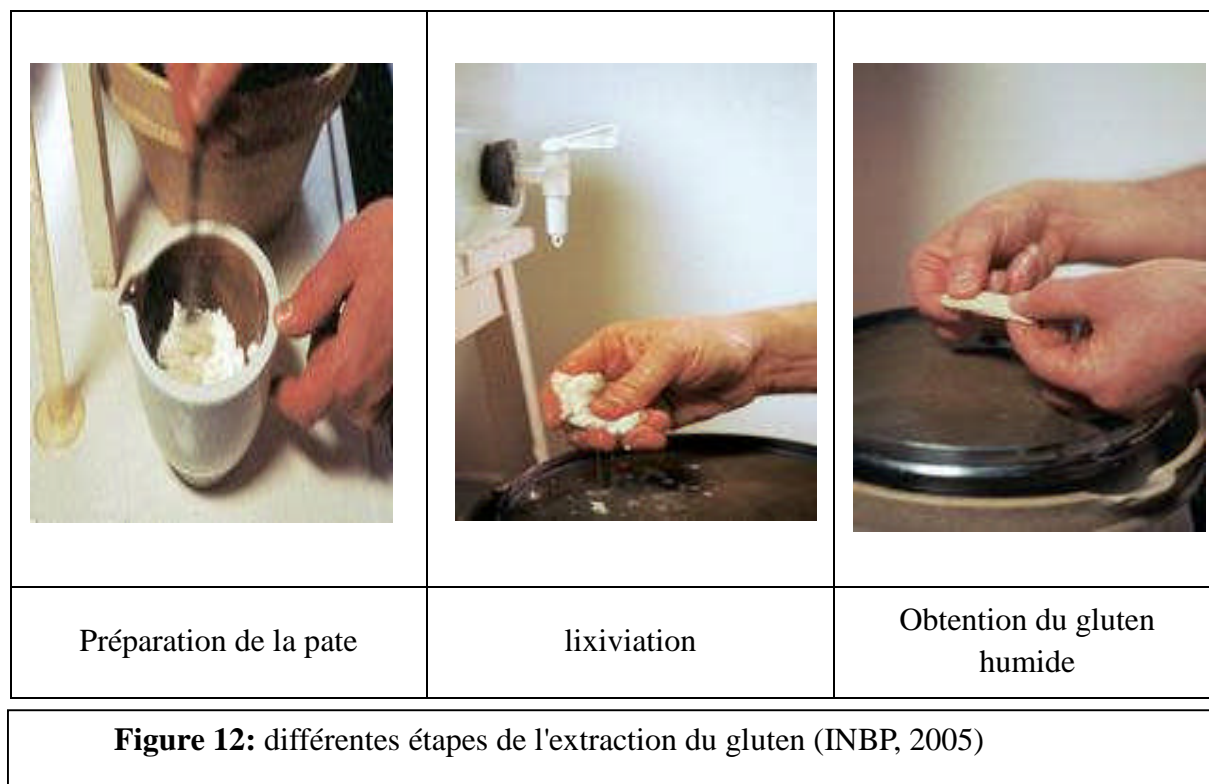
Pour obtenir le pourcentage du gluten humide et gluten sec dans la farine multiplier les résultats par trois.

Pour calculer la capacité d'hydratation du gluten utiliser la formule suivante :

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

Soit :

- CH : capacité d'hydratation
- GH : gluten humide
- GS : gluten sec.



I.4.2.4. Alvéographe Chopin :

Le principal intérêt de l'alvéographe est de prédire l'aptitude d'un blé ou d'une farine à être utilisée dans la fabrication de produits de cuisson.

Cependant de nombreuses autres applications sont possibles.

- ✓ Prédire la qualité d'une farine résultante du mélange de farines différentes ou de calculer les proportions de chaque farine à incorporer pour obtenir un produit de qualité recherchée.
- ✓ Tester le pouvoir améliorant des additifs et en définir la dose optimale.
- ✓ Mettre en évidence les blés dont les conditions de stockage n'ont pas été optimales. Les courbes obtenues à partir de ces blés sont très caractéristiques (**MOULINIER et BRETTE, 1995**).

Cette méthode est issue de la norme (**ISO 5530/4**) de septembre 1992.

➤ Principe

Le principe de la mesure repose sur l'étude du comportement d'un échantillon de pâte, formé à partir d'un mélange de farine et d'eau salée lors de sa déformation sous l'effet d'un déplacement d'air à débit constant.

Dans un premier temps, le disque de pâte résiste à la pression et ne se déforme pas, puis il gonfle sous forme de bulle plus ou moins volumineuse selon son extensibilité et éclate.

L'évolution de la pression dans la bulle est mesurée et reportée sous forme de courbe, appelée alvéogramme (**MOULINIER et BRETTE, 1995**).

➤ **Mode opératoire**

Détermination de la teneur en eau de la farine à analyser selon la méthode décrite dans la norme **ISO712**.

Détermination en fonction de la teneur en eau de la farine, la quantité de la solution de Chlorure de sodium à utiliser pour préparer la pâte.

✧ **Pétrissage**

- Mettre dans le pétrin 250g de la farine, fixer le couvercle ;
- Mettre en route le moteur et chronomètre, versé le trou du couvercle la quantité de la détermination de chlore de sodium. Puis laisser la pâte se formé durant 1min ;
- Au bout de cette minute, arrêter le moteur, enlever le couvercle, réincorporé avec une spatule les particules de farine et de pate qui adhèrent au couvercle ou les angles de manière à respecter l'hydratation de la pâte. L'opération dispose d'une minute ;
- A la fin de la deuxième minute, émettre le moteur en marche, laisser alors le pétrissage se poursuivre durant 06 min ;
- A la fin de la huitième minute, arrêter le pétrissage et procéder à l'extraction.

✧ **Préparation des éprouvettes**

- Inverser dans le sens de rotation du fraiseur, dégager la fonte d'extraction, éliminer les deux premiers centimètres de la pâte ;
- Confectionner 5 petites éprouvettes circulaires et les mettre dans la chambre de repos (température 25°C).
- Après un temps de repos de 20 min, on précède au gonflement de chaque éprouvette de pate jusqu'à éclatement de la bulle et parallèlement le diagramme de déformation se dessine sur un enregistreur est donc de certains propriété physique de la pâte ,30mn après le début de son élaboration.

La courbe alvéographique correspondant à la variation de résistance de la pâte pendant son gonflement à débit d'air constant.







		
Préparation et pétrissage de la pâte	Extraction de la pâte	Laminage des pâtons
		
Découpe des pâtons	Mise à l'étuve	Réalisation de la bulle

Figure 13 : différentes étapes de l'Alvéographe CHOPIN (INBP ,2005).

➤ **Expression des résultats :**

L'évolution de la pression dans la bulle est mesurée et reportée sous forme de courbe appelée alvéogramme de Chopin (**figure 15**).

Les paramètres issus de cette courbe sont les suivant :

- * **W** : Le travail de déformation (exprimé en 10^{-4} j. g^{-1} de pâte). C'est le résultat le plus utilisé, il correspond à la surface délimitée par la courbe et l'axe de l'abscisse. Il chiffre la force boulangère de la farine.
- * **P** : Ordonnée de pression maximale (exprimée en mm).c'est un indicateur de la résistance de la pâte à la déformation. Elle traduit la ténacité de la pâte .Du fait que les essais soient effectuées à hydratation constante, plus grande sera l'ordonnée maximale, plus il faudra ajouter d'eau pour obtenir une pâte de consistance déterminée.

- * **L** : Abscisse à la rupture (exprimée en mm). Ce paramètre est proportionnel au volume de la bulle atteint juste avant sa rupture. L est généralement associé à l'extensibilité de la pâte.
- * **G** : Le gonflement Cet indice exprime l'extensibilité (L) de la pâte. C'est un critère important de la qualité des blés et des farines (**GODON et WILLIM, 1991**).
- * **P/L** : Rapport de configuration de la courbe. Ce rapport exprime l'équilibre des propriétés de ténacité et d'extensibilité.

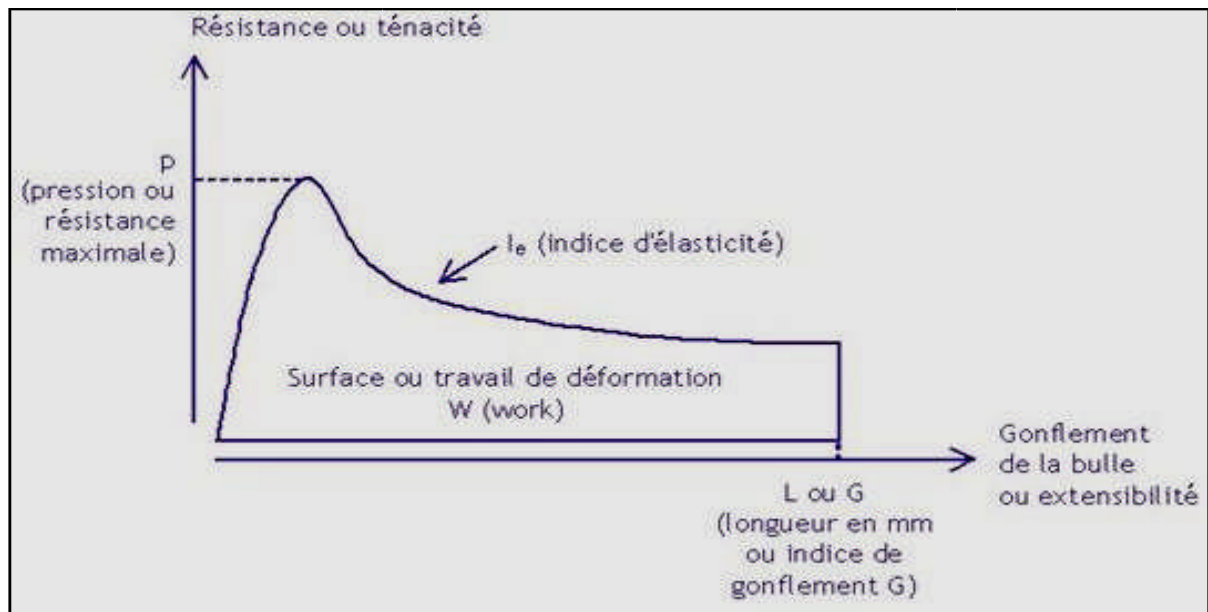


Figure 15 : Courbe typique obtenue avec un alvéographe de Chopin. (Alvéogramme) **BOURSSON (2009)**.

N.B : les résultats sont mesurés à partir de 5 courbes obtenues. Toutefois, si l'une d'entre elles s'écarte notablement des quatre autres en particulier à la suite de la rupture de la bulle, elle ne sera pas tenue compte dans l'expression des résultats.

I.4.3. Essai de fabrication du biscuit à la farine de germe de blé tendre :

Dans Notre cas nous avons procédé à la fabrication de biscuits témoins (BT) type biscuit sec « Galettes » selon la formule établie par l'unité BIMO. Ces biscuits sont fabriqués à base de farine de blé tendre. Les autres biscuits ont été préparés selon la même formule tout en incorporant à la farine de blé tendre de la farine de germe. Les autres ingrédients restant les mêmes.

La farine de germe de blé tendre a été incorporée avec la farine biscuitière selon les proportions présentées dans le tableau 15

Tableau 14 : les différents taux d'incorporation de la farine de germe de blé

Taux d'incorporation (%)	0	5	10	15	20
Farine du blé (g)	5000	4750	4500	4250	4000
Farine de germe de blé tendre (g)	0	250	500	750	1000

I.4.3.1. Formulation du biscuit témoin :

Les quantités nécessaires des ingrédients utilisés pour la fabrication du biscuit sont illustrées dans le tableau suivant :

Tableau 15 : Quantité des ingrédients utilisés pour la fabrication du biscuit.

Ingrédient	Quantité en g	Quantité (%)
Farine	5000	59.7
Sucre	1567.5	18.9
Graisse végétale	825	9.9
Lactosérum	99	1.2
Bicarbonate d'ammoniac	41.25	0.5
Bicarbonate de soude	33	0.4
Extrait de malt	49.5	0.6
Lécithine	33	0.4
Pyrophosphate	16.5	0.2
Sel	41.25	0.5
Arome (la vanille)	33	0.4
Eau	594	7.17

I.4.3.2. Processus de fabrication des biscuits :

❖ mélange des matières premières :

Dans un pétrin on Mélange les matières grasses avec le sucre à la vitesse 1 pendant 3 minutes. Puis on fait Dissoudre le sel, le pyrophosphate, le bicarbonate de sodium et

d'ammonium dans l'eau qu'on ajoute à la préparation précédente ensuite on ajoute l'arome, le lactosérum, l'extrait de malt et la lécithine et on mixe pendant 5 à 6 minutes à la vitesse 2 on obtient une crème homogène.

On ajoute la farine au mélange crémeux et on mélange le tout pendant 3 à 4 minutes.

❖ Moulage des pâtes

Cette opération est effectuée dans un laminoir mécanique, les biscuits en fin de moulage ont une épaisseur de 0.5 Cm et un diamètre de 6 Cm.

❖ Cuisson :

La cuisson est réalisée dans un four composé de trois zones à température indirecte et ventilé. La température du four passe de 38 à 220 °C et le temps de cuisson est de 10 minutes.

❖ Refroidissement et emballage :

A la sortie du four, les biscuits sont refroidis totalement à l'air libre pendant une durée de 15 minutes. Les biscuits refroidis sont emballés manuellement dans un film en polypropylène et étiquetés en fonction du taux d'incorporation du germe de blé.

I.4.3.3. Evaluation expérimentale des biscuits :

Elle est effectuée selon des critères proposés par (BENOUALID, 1987) et (SUDHA *et al*, 2007). Qui sont :

- ✓ La Masse d'un biscuit : exprimée en grammes.
- ✓ Le Diamètre du biscuit : exprimée en cm
- ✓ L'épaisseur du biscuit : exprimée en cm
- ✓ L'indice de développement de biscuit (I.D) : l'indice de développement est déterminé à partir du rapport du volume et de poids du biscuit.

I.4.3.4. Evaluation sensorielle des biscuits :

L'analyse correcte des propriétés organoleptiques des produits fabriqués revête une grande importance commerciale dans l'industriel alimentaire. Il est en effet nécessaire d'assurer un certain niveau de qualité et souvent de mettre au point des produits nouveaux correspondant au goût des consommateurs (CHEFTEL *et al*, 1979).

Les caractéristiques organoleptiques regroupent toutes les informations recueillies par les organes sensorielles (le toucher, la vue, le goût et l'odorat). Les cinq types de biscuits ont été

soumis à la dégustation par un jury composé de 30 personnes, le test de dégustations a été fait le : 25/06/2013 à 9h30m du matin au niveau du département d'agronomie (université de Blida).

Les caractéristiques organoleptiques déterminées sur les biscuits sont :

- ✓ La Couleur.
- ✓ L'Etat de surface.
- ✓ La dureté.
- ✓ Le goût.
- ✓ L'odeur.

Le barème de dégustation est de 1 à 4 respectivement, très bon, bon, acceptable, médiocre.

Des explications préliminaires sont données aux dégustateurs avant chaque dégustation. Elles portent essentiellement sur les descripteurs de propriétés organoleptiques des biscuits ainsi que les notes qui leur sont attribuées.

Le premier objectif de ce test est d'avoir un avis sur la qualité organoleptique de chaque biscuit. Le second est d'étudier l'influence du taux d'incorporation sur les caractères organoleptiques.

I.4.4. Analyses microbiologiques

Le contrôle microbiologique a pour but de garantir la bonne qualité hygiénique. Il détermine le risque pour la santé du consommateur (**BRULE et al, 2006**).

Les analyses reposent sur la recherche et le dénombrement des germes les plus significatifs de l'état hygiénique de produit alimentaire.

Le tableau 14 regroupe les différents germes recherchés pour chaque produit analysé selon l'Arrêté interministériel N°35/1998 qui indique les germes recherchés dans les différents produits alimentaires.

Tableau 16: les différents germes recherchés pour chaque produit analysé

Produit analysés	Germes recherchés et dénombrés
Produits de mouture (semoules, farines)	* Moisissures * Clostridium sulfito-réducteurs
Dérivés de céréales (biscuits, biscottes)	* Germes aérobies mésophiles totales * Staphylococcus aureus * Moisissures

I.4.4.1. Préparation de l'échantillon pour essai :

Chaque fois qu'il est nécessaire. Il est procédé à une homogénéisation du produit. Les prises d'essai sont effectuées sur l'échantillon homogénéisé en tenant compte de la nature des produits et des opérations analytiques à conduire. Elles sont en principe de 10, 25 ou 50 g ou ml. (JOFFEN et al., 2000).

- **Préparation des dilutions en vue de l'examen microbiologiques**

Introduire aseptiquement 25 g de produits à analyser dans un bocal stérile préalablement taré contenant au préalable 225 ml de diluant soit le TSE (Tryptone Sel Eau). Homogénéiser. Cette suspension constitue la dilution mère (DM) qui correspond à la dilution 1/10.

- **Dilutions décimales**

Introduire ensuite aseptiquement à l'aide d'une pipette 1 ml de la dilution primaire dans un nouveau tube contenant 9 ml de diluant stérile : cette dilution sera alors au 1/100. Utiliser une nouvelle pipette pour chaque dilution.

Si nécessaire, répéter ces opérations avec un diluant stérile en utilisant la dilution 10^{-2} et les suivantes pour obtenir les dilutions 10^{-3} , 10^{-4} , etc. jusqu'à obtention du nombre approprié de micro-organismes par millilitre (**figure 15**).

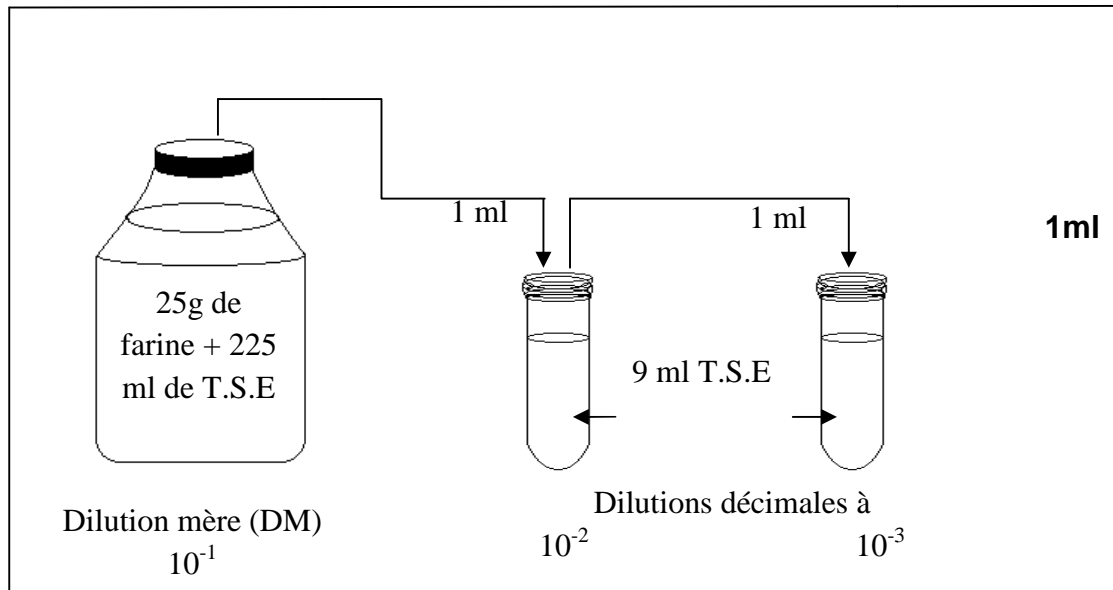


Figure 15: schéma de préparation des dilutions décimales (originale).

I.4.4.2. Recherche et dénombrement des moisissures :

Les moisissures sont des champignons filamenteux unis ou multicellulaires (GUIRAUD ,2003).

✓ **Principe :**

Le principe repose sur l'emploi d'un milieu de culture solide « O.G.A » rendu sélectif par acidification et par addition d'un antibiotique qui est l'oxytétracycline.

✓ **Mode opératoire :** voir figure 1 (Annexe II).

- **Préparation du milieu :** Fonder préalablement un flacon de gélose O.G.A, puis le refroidir à 45°C ;
 - ✓ Ajouter 15ml de la solution d'oxytétracycline ;
 - ✓ Mélanger soigneusement puis couler le flacon d'O.G.A ainsi préparé en boîte de pétri ;
 - ✓ Laisser refroidir les boîtes sur pailleuse puis sécher à l'étuve avant leur utilisation.
- **Ensemencement :** A partir des dilutions décimales préparées, 10^{-1} , 10^{-2} , 10^{-3} porter aseptiquement 4 gouttes par dilution sur une boîte de pétri contenant le milieu O.G.A (gélose glucosée à l'oxytétracycline) préalablement solidifié, puis les étaler à l'aide d'un râteau stérile en commençant par la plus haute dilution.
 - Faire de la même façon une boîte témoin du milieu incubé tel quel.

- **Incubation** : L'incubation de ces boîtes se fait à 20 jusqu'à 25°C donc à température ambiante, couvercle en haut, pendant 5 à 8 jours.
- **Lecture** : La première lecture doit se faire à partir de la 48^{ème} h d'incubation. Elle consiste d'abord en la lecture de la boîte témoin, car si elle présente des moisissures, l'analyse est à refaire.
 - Il est noté que les colonies de moisissures sont épaisses, pigmentées ou non.
 - Le comptage se fait sur les boîtes contenant entre 15 et 300 colonies.
 - Le nombre trouvé est multiplié par l'inverse de la dilution.

I.4.4.3. Recherche et dénombrement des *Clostridium Sulfito-Réducteur* :

Les *clostridium* sont classiquement définis comme des bactéries de Gram positif de forme bacillaire et anaérobies stricts. Ils présentent une résistance considérable dans les milieux naturels. Ils forment des spores dans les conditions défavorables, laissant suspecter une contamination à long terme.

✓ Principe :

Le *Clostridium sulfito-réducteur* est mis en évidence en utilisant la gélose VF (viande de foie) à laquelle on ajoute le sulfite de sodium et l'alun de fer qui permettent la formation d'un complexe noir entre le fer et le sulfure par les *Clostridium*.

✓ Mode opératoire : voir figure 2 (Annexe II)

- **Préparation du milieu** : Au moment de l'emploi faire fondre un flacon de gélose VF, le refroidir dans un bain d'eau à 45°C. Puis ajouter une ampoule d'alun de fer et une ampoule de sulfite de sodium, Mélanger soigneusement et aseptiquement. Cependant le milieu est ainsi prêt à l'emploi, mais il faut le maintenir dans une étuve à + 45°C jusqu'au moment de l'utilisation.
- **Ensemencement** : Les tubes contenant les dilutions 10^{-1} et 10^{-2} , seront soumis: d'abord à un chauffage à 80°C pendant 8 à 10 minutes ; puis à un refroidissement immédiat et brutal sous l'eau de robinet ; A partir de ces dilutions,
 - ❖ porter aseptiquement 1 ml de chaque dilution en double, dans deux tubes à vis stérile,
 - ❖ puis ajouter environ 15 ml de gélose viande foie prête à l'emploi, dans chaque tube ;
 - ❖ Laisser solidifier sur paillasse pendant 30 minutes.
- **Incubation:**

Les tubes seront ainsi incubés à 37°C. Pendant 16, 24 ou au plus tard 48 heures.

- **Lecture :**

Les colonies noires de spores qui sont développées en anaérobiose sont des colonies des bactéries de *Clostridium sulfito-réducteur* produisant à partir des sulfites, des sulfures qui ont précipité avec les ions de fer.

La première lecture doit se faire immédiatement à 16 heures, car :

- ✓ d'une part, les colonies de *Clostridium sulfito-réducteur* sont envahissantes et on se trouvait en face d'un tube complètement noir ce qui rend l'interprétation impossible et l'analyse à refaire ;
- ✓ D'autre part, il faut absolument repérer toute colonie noire ayant poussé en masse et d'un diamètre supérieur à 0,5 mm ;
- ✓ Dans le cas où il n'y a pas de colonies caractéristiques, réincorporer les tubes et effectuer une deuxième lecture au bout de 24h voire 48h.

I.4.4.4. Recherche et dénombrement des germes aérobies mésophiles totaux (GAMT) :

C'est l'ensemble des micro-organismes aptes à se multiplier à l'air à des températures optimales de croissance comprise entre 25 et 40°C sur milieu non sélectif (**BOURGEOIS; 1996**). Le dénombrement de la flore totale reflète la qualité microbiologique générale d'un produit (**GUIRAUD ; 2003**).

- ✓ **Principe :**

Ensemencement en profondeur d'un milieu de culture définit, coulé une boîte de pétri avec une quantité déterminée de solution mère. Dans les mêmes conditions, ensemercer d'autres boîtes avec des dilutions à partir de solution mère. L'incubation des boîtes à 30°C, en aérobie pendant 72 heures. A partir du nombre de colonies obtenus dans les boîtes de pétri retenues, on calcule le nombre de microorganisme par gramme de l'échantillon analysé.

- ✓ **Mode opératoire :** voir figure 03 (Annexe II).

- A partir des dilutions décimales allant de 10^{-3} à 10^{-1} , porter aseptiquement 1 ml dans une boîte de pétri vide préparée à cet usage.
- Compléter ensuite avec environ 12 à 15 ml de gélose PCA fondue puis refroidie à $45^{\circ} \pm 1$.
- Faire ensuite des mouvements circulaires et de va et vient en forme de (8) pour permettre à l'inoculum de se mélanger à la gélose utilisée.
- Laisser solidifier sur paillasse, puis rajouter une deuxième couche d'environ 5 ml de la même gélose. cette double couche a un rôle protecteur contre les contaminations divers.

✓ Incubation :

- Les boîtes seront incubées couvercles en bas à 30°C, pendant 72 h avec lecture chaque 24 h.

✓ Lecture et dénombrement :

- Les germes de GAMT se présentent sous forme lenticulaire en masse.
- Le dénombrement, s'agit de compter toutes les colonies ayant poussé sur les boîtes en tenant compte les facteurs suivants :
 - ❖ Ne dénombrer que les boîtes contenant entre 15 et 300 colonies.
 - ❖ Multiplier toujours le nombre trouvé par l'inverse de sa dilution.
 - ❖ Faire ensuite la moyenne arithmétique des colonies entre les différentes dilutions.

I.4.4.6. Recherche et dénombrement des *Staphylococcus aureus*

Staphylococcus aureus est un germe pathogène capable de produire une entérotoxine pouvant causer une intoxication alimentaire. La recherche de ce germe permet de savoir si le produit présente des risques pouvant atteindre la santé du consommateur.

➤ Principe

La recherche des *Staphylococcus aureus* est effectuée sur le bouillon de Giolitti et Cantoni auquel on ajoute une ampoule de téllurite de potassium.

➤ Technique d'ensemencement : figure 04 (Annexe II).

- Ajouter l'ampoule de téllurite de potassium au bouillon de Giolitti et Cantoni et mélanger,
- Préparer trois tubes contenant les dilutions décimales,
 - Mettre aseptiquement 1ml de chaque dilution dans deux tubes à essai. Ajouter 15ml de bouillon de Giolitti et Cantoni préalablement préparée, dans chacun des deux tubes, mélanger soigneusement l'inoculum et le milieu.

➤ Incubation

Incuber les tubes à une température de 37°C pendant 24h à 48h.

➤ Lecture

Le développement des *Staphylococcus aureus* se manifeste par l'apparition d'une coloration noire qui est due à la réduction du téllurite en tellure métallique.

La lecture finale se fait selon les prescriptions de la table de **Mac Grady** (Annexe III), exprimée par NPP (nombre le plus probable) qui donne le nombre de germes par ml ou g de produit.

II.1. Résultat des analyses biochimiques du germe de blé tendre

Les caractéristiques biochimiques déterminées sur le germe de blé tendre, sont illustrés par la figure 16 et présentées dans le tableau 1 (Annexe I).

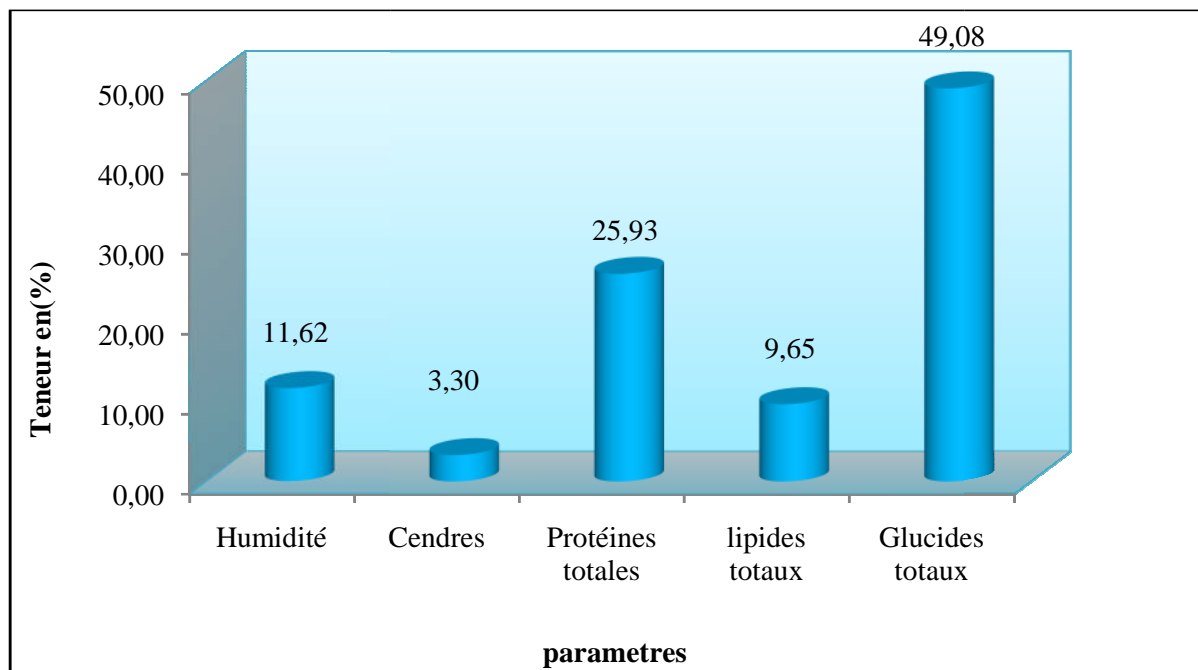


Figure 16 : caractéristiques biochimiques déterminés sur le germe de blé

La teneur en eau du germe de blé tendre est de 11.62%, cette valeur est de même ordre de grandeur que celle rapportée par **ADRIAN et FRANGNE (1995)** et **NESSAH (1998)** qui est respectivement 11.4% ; 11.5%, par contre elle est supérieure à celles cités par **BARNES (1983)** qui trouve une valeur de 9%.

Le taux de cendre du germe de blé analysé est de 3.3%. Cette valeur est légèrement inférieur a la fourchette rapportée par **IBANOGLU, 2002 ; ADRIAN, 2004 ; BOURSON, 2009** (4 a 6 %). Elle se rapproche par contre de la valeur donnée par **SRIVASTAVA et al (2007)** : 3,4 %. Cette valeur ne présente pas la valeur exacte des sels minéraux contenus dans l'échantillon, car un grand nombre de sels minéraux sont détruits, modifiés ou se volatilisent à la température d'incinération.

Pour la teneur en protéines, elle est de 25.93%, cette valeur est comparable à celles trouvées par **BARNES (1983)** :26% et **ADRIAN et FRANGNE (1995)** :27 % par contre elle est inférieure à celle donnée par **NASSAH (1998)** qui a trouvé une teneur de 40%.

Concernant la teneur en lipides, elle est 9.65%, ce qui confirme les travaux de (**NASSAH, 1998 ; ADRIAN, 2004 ; et ZHU et ZHOU, 2005**) qui ont trouvé des valeurs allant de 6,5 à 12%. La teneur en lipides totaux est fonction de la variété, de la méthode analytique utilisée. Il est noté que la méthode d'extraction du germe peut être en plus, un facteur pouvant expliquer ces variations.

Le germe de blé représente une valeur élevée en glucides (49.08%), cette valeur est supérieure à celle citée par **NASSAH (1998)** qui est de 34%.

D'après ces résultats, nous remarquons que le germe de blé est très riche en eau, en éléments minéraux, en protéines, en matières grasses et en glucides. Ce qui lui confert un large domaine d'utilisation, surtout comme complément alimentaire.

La richesse du germe de blé en eau et en matières grasses peut causer beaucoup de problèmes de périssabilité lors de stockage, ce qui rend indispensable sa stabilisation.

II.2. Etudes des farines

II.2.1. Résultats des analyses physicochimiques des farines :

II.2.1.1. Teneur en eau :

La teneur en eau est un facteur essentiel dans l'évolution des phénomènes biologiques, le contrôle de l'humidité des farines permet de minimiser le risque d'altération lors du conditionnement et du stockage (**FEILLET, 2000**).

Les résultats des teneurs en eau des différents types des farines sont illustrés par la figure 17 et représentés dans le tableau 02 (Annexe I).

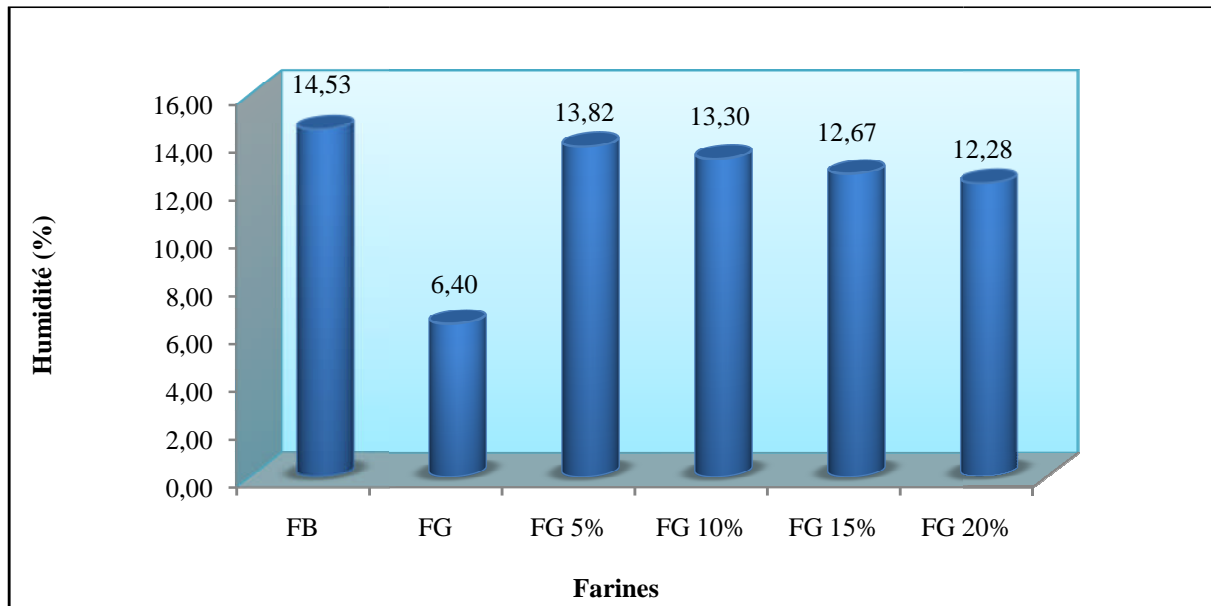


Figure 17 : teneurs en eau des différents types de farine

- ❖ FB : farine de blé tendre.
- ❖ FG : farine de germe de blé tendre.
- ❖ FG 5% : farine de germe de blé incorporés à 5%.
- ❖ FG 10% : farine de germe de blé incorporés à 10%.
- ❖ FG 15% : farine de germe de blé incorporés à 15%.
- ❖ FG 20% : farine de germe de blé incorporés à 20%.

Pour la farine biscuitière étudiée la teneur en eau est de 14.53%. Cette valeur est du même ordre de grandeur que celle rapportée par (BENKADRI, 2010) ;(AKLIT et HAMMOUCHI, 2012) et qui est respectivement de 14,59% ; 14,31%. Mais reste légèrement supérieure à celle obtenue par (ABOUDAOU, 2011) à savoir 13,96%. Si on se réfère à KIGER et KIGER (1967) l'humidité normale d'une farine biscuitière de blé tendre se situe dans la fourchette de 12 à 16 %. Il ressort que dans notre cas l'humidité de la farine étudiée se situe bien dans cette fourchette.

La farine du germe de blé par contre n'atteint que 6.40 % d'humidité ceci est le résultat de traitement thermique de stabilisation dont le but est d'éviter partiellement ou totalement une activité microbienne ou enzymatique. L'humidité de la farine de germe de blé est légèrement supérieur a celle trouvée par ARCHAD; 2007 qui rapporte une teneur en eau de 5.58%.

La teneur en eau des différents mélanges varie entre 13.82 et 12.28%. Elle diminue au fur et à mesure que le taux d'incorporation augmente, Ceci est du a la faible teneur en humidité de la

farine de germe de blé incorporé qui est de 6,40 %. La teneur en humidité des mélanges est incluse dans la fourchette des farines biscuitières (12 à 16 %) citée par **KIGER et KIGER, 1967**. Donc elle est acceptable.

II.2.1.2. pH

Le pH est un autre paramètre déterminant l'aptitude à la conservation des aliments. Il constitue l'un des principaux obstacles que la flore microbienne doit franchir pour assurer sa prolifération (**GIDDEY ; 1982, GATEL ; 1982, BRISSONET *et al*, 1994**). Ainsi, un pH de l'ordre de 3 à 6 et très favorables au développement des levures et moisissures.

Les résultats du pH sont illustrés par la figure 18 et le tableau 02 (annexe I).

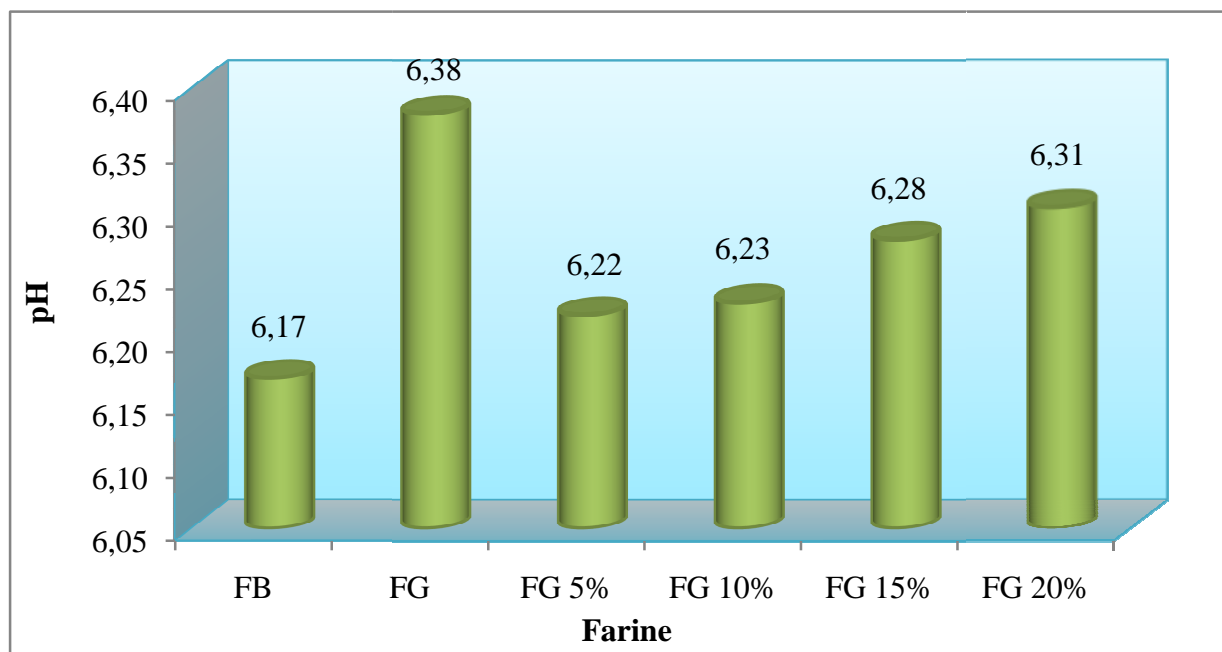


Figure 18 : pH des différents types de farine

- ❖ FB : farine de blé tendre.
- ❖ FG : farine de germe de blé tendre.
- ❖ FG 5% : farine de germe de blé incorporés à 5%.
- ❖ FG 10% : farine de germe de blé incorporés à 10%.
- ❖ FG 15% : farine de germe de blé incorporés à 15%.
- ❖ FG 20% : farine de germe de blé incorporés à 20%.

La figure 18 montre que le pH de la farine de blé tendre est de 6.17. Celui de germe de blé est de 6.38. À chaque fois qu'on augmente le taux d'incorporation le pH augmente par rapport au pH de la de blé tendre comme suit :

- Le pH de la farine de germe de blé incorporée a 5% = 6.22.

- Le pH de la farine de germe de blé incorporée a 10% = 6.23.
- Le pH de la farine de germe de blé incorporée a 15% = 6.28.
- Le pH de la farine de germe de blé incorporée a 20% = 6.31.

D'après ces résultats, le pH des différents types de farine est supérieur a 6 et reste dans un intervalle proche de la neutralité donc sont conformes a la norme AFNOR (NFV05-108) qui exige une valeur de pH proche a la neutralité.

II.2.1.3. Taux de cendres :

Les cendres représentent la quantité totale en matière minérale présentées dans les farines. On considère une faible teneur en cendres d'une farine, comme un caractère de pureté (**GODON, 1991**). Le taux de cendres dans certains cas est un indicateur de rendement en farine d'un blé.

Le pourcentage de la matière minérale ou des cendres est illustré par la figure 19 et représenté par le tableau 02 (Annexe I).

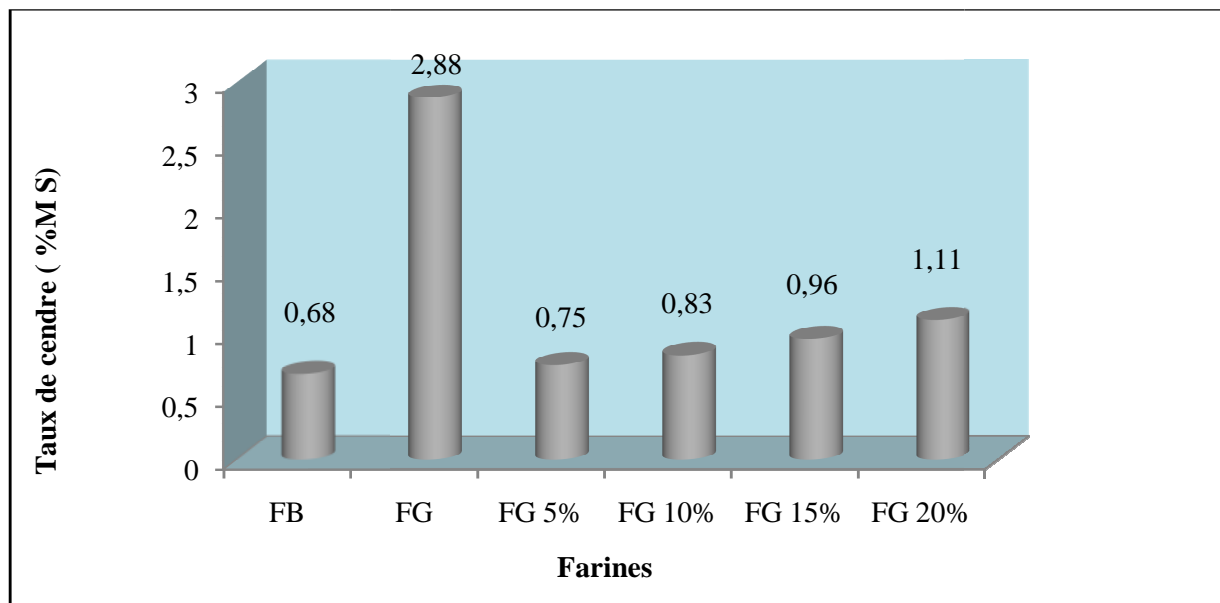


Figure 19 : taux de cendres des différents types de farine.

- ❖ FB : farine de blé tendre.
- ❖ FG : farine de germe de blé tendre.
- ❖ FG 5% : farine de germe de blé incorporés à 5%.
- ❖ FG 10% : farine de germe de blé incorporés à 10%.
- ❖ FG 15% : farine de germe de blé incorporés à 15%.
- ❖ FG 20% : farine de germe de blé incorporés à 20%.

D'après la figure 19 nous constatons que la farine de germe de blé est plus riche en matières minérales (2.88% MS) comparativement à la farine de blé tendre (0.68%MS). A chaque fois qu'on augmente le taux d'incorporation le taux de cendres augmente par rapport à la farine de blé tendre.

- Le taux de cendres de la farine de germe de blé incorporée a 5% = 0.75% MS.
- Le taux de cendres de la farine de germe de blé incorporée a 10% = 0.83% MS.
- Le taux de cendres de la farine de germe de blé incorporée a 15% = 1.96% MS.
- Le taux de cendres de la farine de germe de blé incorporée a 20% = 1.11% MS.

D'après ces résultats, le taux de cendre de la farine de germe de blé est beaucoup plus important que celle rapportée par **BAJAJ et al (1991)** : 1,59%. Il se rapproche par contre de la valeur donnée par **ABOUDAOU (2011)**, qui a trouvé un taux de cendre de 2.66%.

Le taux de cendre de la farine biscuitière et la farine de germe de blé incorporée a 5% est conforme a la norme européen (NF.1.1-29/1985) qui exige un taux de cendres compris entre 0.4 et 0.8% MS. Le taux de cendre des farines incorporées a 10, 15 et 20% est supérieur a 0.8% MS cela est due a l'augmentation de taux d'incorporation de la farine de germe de blé qui est riche en matière minérale.

II.2.1.4. Acidité grasse :

Les résultats de l'acidité grasse sont représentés par la figure 20 et le tableau 02 (Annexe I).

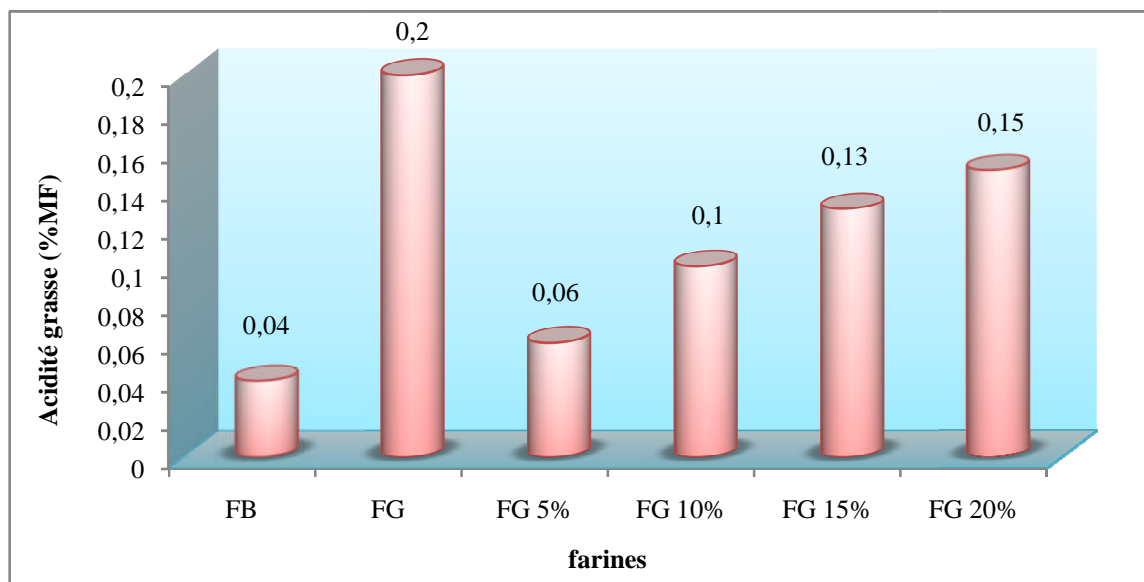


Figure 20 : acidité grasse des différents types de farine

- ❖ FB : farine de blé tendre.
- ❖ FG : farine de germe de blé tendre.

- ❖ FG 5% : farine de germe de blé incorporés à 5%.
- ❖ FG 10% : farine de germe de blé incorporés à 10%.
- ❖ FG 15% : farine de germe de blé incorporés à 15%.
- ❖ FG 20% : farine de germe de blé incorporés à 20%.

D'après la figure 20, l'acidité grasse de la farine de blé tendre est de 0.04% MF alors que de la farine de germe de blé est de 0.2% MF. Cette acidité grasse augmente avec l'augmentation de taux de l'incorporation par rapport à celle de la farine de blé tendre. Ainsi a un taux de 5%, on enregistre une acidité grasse de 0.06% MF et atteint une teneur de 0.15% MF au taux de 20%.

La farine de blé tendre analysée présente une acidité grasse conforme a la norme algérienne (NA : 1182/1990) qui rapporte une teneur compris entre 0.04 a 0.05% MF. Par contre celle de germe de blé et très élevée par rapport a cette norme. Le résultat de taux 5% est très proche de la norme d'une farine destinée à la biscuiterie alors que les taux 10%, 15% et 20% sont légèrement plus élevés.

Cette détermination permet de conclure à une mauvaise conservation de la farine de germe blé tendre. Elle révèle en fait une oxydation de la matière grasse de l'échantillon. Une acidité excessive peut prévenir du grain si celui-ci a été mal conservé.

II.2.1.5. Teneur en protéines :

La figure 21 et Le tableau 02 (annexe I) illustrent les résultats de la teneur en protéine de différentes farines.

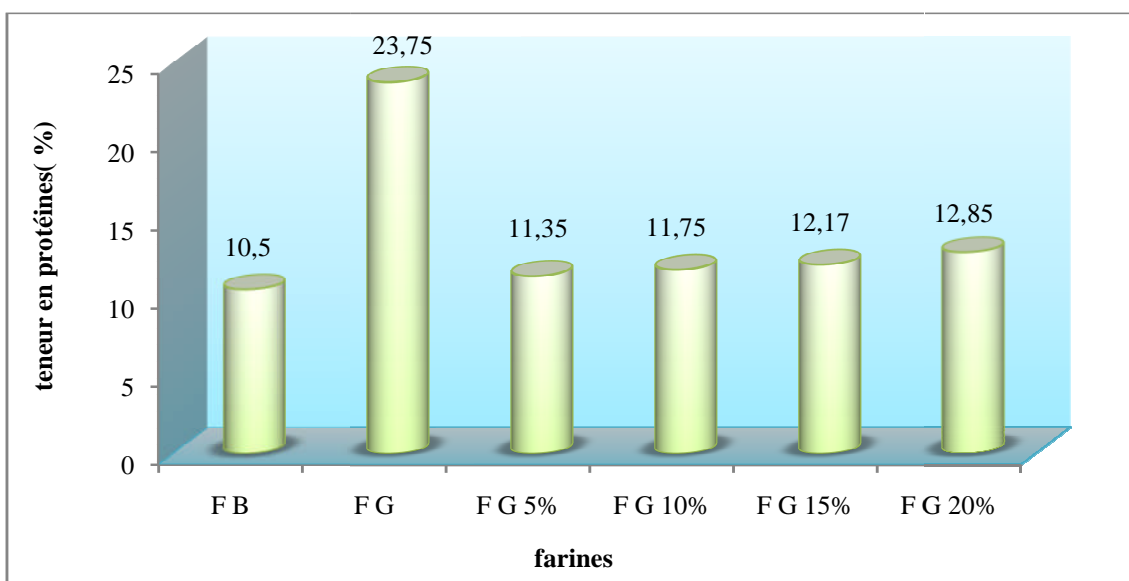


Figure 21 : teneur en protéines de différentes farines.

- ❖ FB : farine de blé tendre.
- ❖ FG : farine de germe de blé tendre.
- ❖ FG 5% : farine de germe de blé incorporés à 5%.
- ❖ FG 10% : farine de germe de blé incorporés à 10%.
- ❖ FG 15% : farine de germe de blé incorporés à 15%.
- ❖ FG 20% : farine de germe de blé incorporés à 20%.

A la lumière des résultats illustrés dans la figure 21, nous remarquons que la farine de blé tendre utilisée présente une teneur en protéines de 10,5% M.S, cette teneur est proche de celles rapportées par (**ABOUDAOU, 2011**) et (**SUSANNA et PRABHASANKAR, 2013**) avec respectivement 10,54% et 10,8%, alors que la farine de germe de blé atteint une valeur de 23.75 % M.S. cette teneur est légèrement supérieur à la teneur donnée par **BAJAJ (1991)** qui trouve une teneur de 20,48 % par contre elle est inférieure au taux trouvé par **ABOUDAOU(2011)** : qui rapporte une teneur de 31.05%.

L'incorporation de la farine de germe de blé augmente largement le taux de protéines des différents mélanges qui passent de 11,35 % MS à 12.85 % MS pour les taux de 5% et 20 % respectivement.

BIARNAIS (1987) a montré qu'une farine ayant un taux en protéines en dessous de 9% génère une pâte biscuitière difficilement machinable avec une mauvaise tenue en développement. Au delà de 12% la pâte biscuitière présente une très grande rétraction avec une longueur incontrôlable. Plusieurs auteurs (**GAINES, 1990 ; SOUZA et al, 1994 ; CHARUN et MOREL, 2001 ; FUSTIER, 2006**) ont montré que dans le cas d'une farine biscuitière le taux des protéines ne doit pas dépasser les 12 %. Comparativement à ces résultats on peut dire que la farine biscuitière, la farine de germe de blé incorporée a 5% et 10 % ont une teneur en protéines acceptable et peuvent être utilisées en biscuiterie. Alors que les taux 15% et 20% sont légèrement élevés.

II.2.2. Résultat des analyses technologiques :

II.2.2.1. Taux d'affleurement :

la figure 22 et le tableau 03 (annexe I) représentent les résultats du taux d'affleurement de différentes farines.

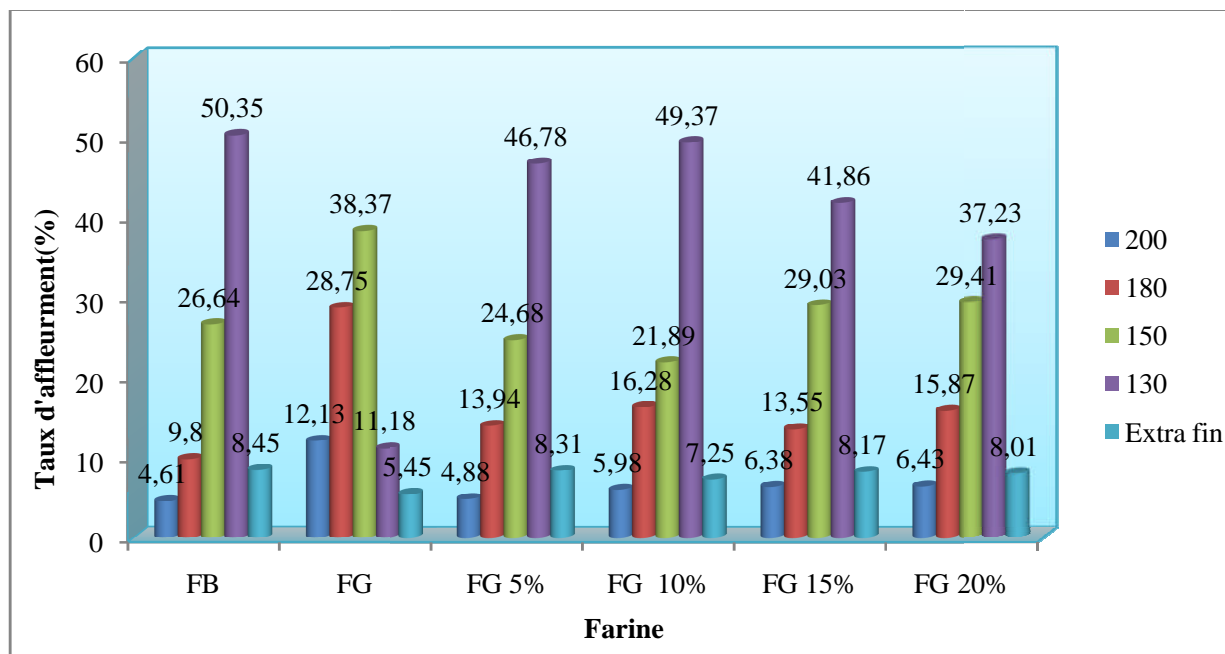


Figure 22 : Taux d'affleurement des farines.

D'après les résultats représentés dans la figure 22, la farine de blé tendre et la farine de germe de blé incorporée à 5, 10, 15 et 20% sont constituées principalement de particules supérieures à 130 µm et inférieures à 180 µm, alors que la farine de germe de blé tendre présente une granulométrie hétérogène.

Les refus de tamis de 200µm de la farine de blé tendre et la farine de germe de blé sont respectivement de 4.61% et 12.13%. A chaque fois qu'on augmente le taux d'incorporation, la valeur du taux d'affleurement des farines augmente par rapport à la farine de blé tendre :

- Le taux d'affleurement de la farine de germe de blé incorporés à 5% = 4.88%
- Le taux d'affleurement de la farine de germe de blé incorporés à 10% = 5.98%
- Le taux d'affleurement de la farine de germe de blé incorporés à 15% = 6.38%
- Le taux d'affleurement de la farine de germe de blé incorporés à 20% = 6.43%

Ces valeurs sont supérieures aux normes algériennes (NA) pour une farine biscuitière. Qui préconisent un taux de refus nul au tamis dont l'ouverture de mailles est de 200µm.

II.2.2.2. Indice de chute :

L'indice de chute de Hagberg mesure indirectement l'activité des amylases (enzyme dégradant l'amidon) qui peut devenir excessive dans le cas de présence de grains germés ou en voie de germination.

Les résultats de l'indice de chute sont rapportés dans le tableau 17

Tableau 17 : Indice de chute de la farine biscuitière et des farines de germe de blé incorporées à différents pourcentages.

Types de farine	Indice de chute (secondes)
Farine de blé tendre (FB)	273
Farine de germe de blé (FG)	-
F G 5%	275
F G 10%	274
F G 15%	267
F G 20%	249

D'après le tableau 17 on constate une valeur de 273 sec pour la de blé tendre et on remarque qu'à chaque fois on augmente le taux d'incorporation la valeur de l'indice de chute diminue. Cette diminution de l'indice de chute avec le taux d'incorporation est due essentiellement à la richesse du germe de blé en α - amylase qui reste une enzyme thermorésistante (**NURET, 1991**).

Pour l'étude d'**EUROGERME (2009)** une activité enzymatique optimale pour les farines biscuitières correspond à un indice de chute compris entre 260 et 320 secondes ce qui est le cas pour la farine biscuitière utilisée et les farines de germe de blé incorporées a 5, 10 et 15 %. Tandis que la farine de germe de blé incorporée à 20% présente un temps de chute inférieur à la norme.

Le pouvoir amylolytique, c'est -à dire la capacité de faire lever la pâte suite à l'activité de la levure doit être très faible; s'il est trop élevé, les biscuits prennent à la cuisson une teinte trop foncée due à la libération des dextrines et à une réaction de Maillard trop intense. Ceci se répercutera sur la qualité des biscuits obtenus (**KIGER et KIGER, 1967**).

II.2.3. Taux de gluten :

Les résultats du gluten sont illustrés dans la figure 23 le tableau 04 (annexe I).

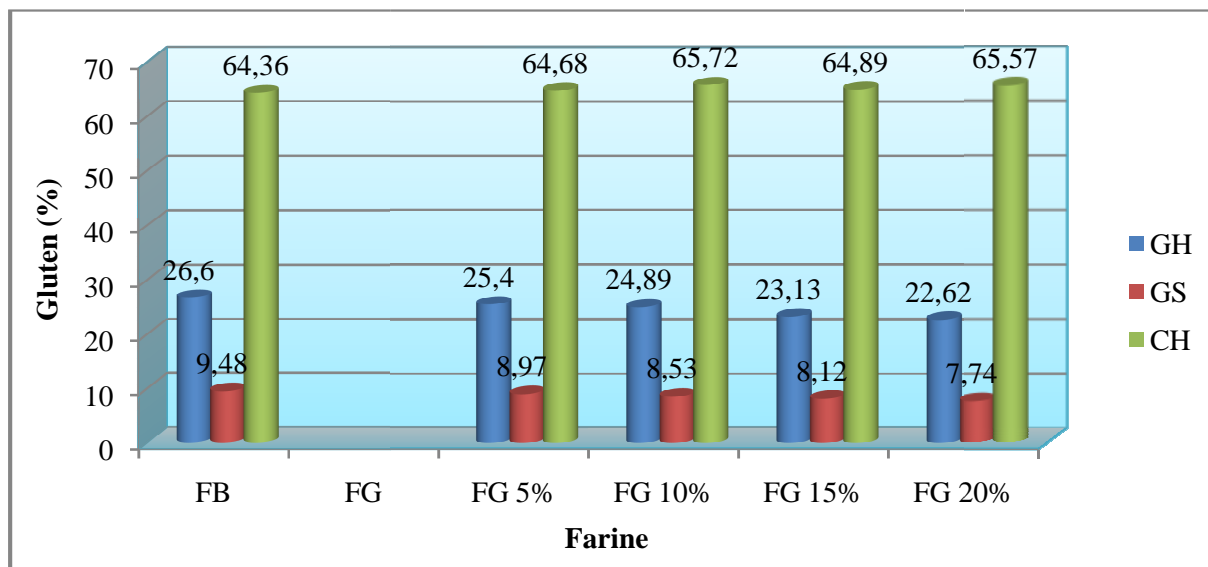


Figure 23 : taux de gluten des différents types des farines.

En biscuiterie sèche il n'est pas recherché à développer un réseau de gluten continu, au cours du pétrissage de façon à éviter les phénomènes de rétraction des pâtes au laminage et au découpage. Une farine ayant une teneur de 7 à 9% de gluten sec est suffisante pour la biscuiterie sèche, et spécialement les biscuits à pâte dure qui nécessitent un gluten possédant une grande extensibilité et un degré limité d'élasticité (**KIGER et KIGER, 1967**). Dans le cas du gluten humide le taux usuel rapporté par (**BOUDREAU et MENARD, 1992**) se situe entre 20 et 24%.

D'après les résultats représentés dans la figure 23, La farine de blé tendre utilisée capitalise dans notre cas, une teneur en gluten sec et humide respectivement de 9.48 % et 26.6 %, ces teneurs sont supérieures des valeurs citées dans la littérature pour la biscuiterie sèche. La farine de germe de blé dans son ensemble, ne forme pas de masse viscoélastique lors de l'extraction du gluten. Ce résultat confirme l'absence de formation de gluten dans le germe de blé. En effet, les protéines de germe de blé, sont composées essentiellement de protéines solubles dans les solutions hydrosalines (albumines et globulines) et comportent très peu de gliadines et de Gluténines (**ADRIAN, 2004**).

Les pourcentages des deux types de gluten (humide et sec) sont inversement proportionnels au taux d'incorporation car à chaque fois qu'on augmente le taux d'incorporation, on a enregistré une diminution de la valeur de gluten par rapport à la farine

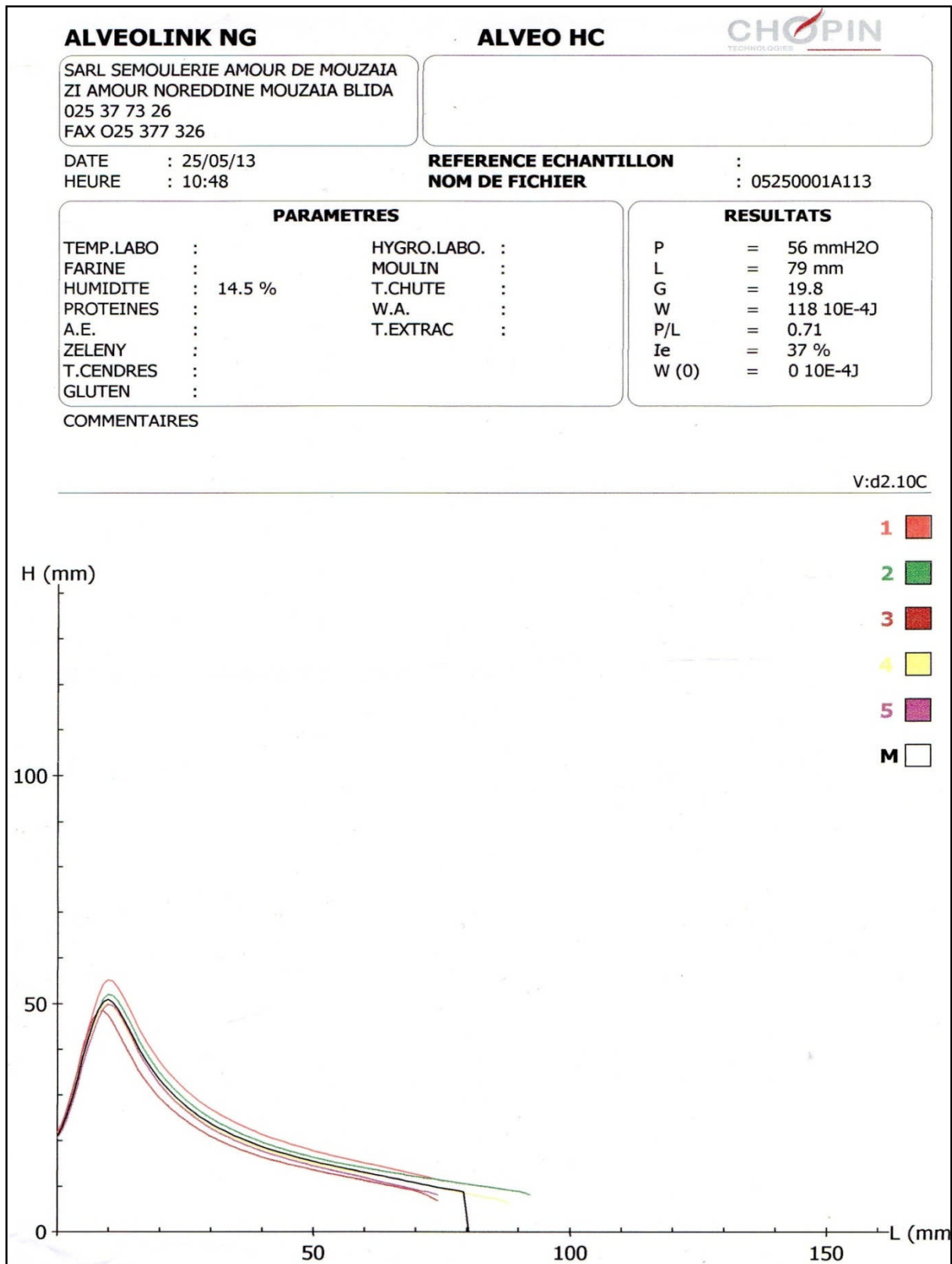
de blé tendre. La teneur en gluten sec des différents taux d'incorporation s'insère dans la fourchette recommandée (7 à 9%). Dans le cas du gluten humide le taux usuel rapporté par **(BOUDREAU et MENARD, 1992)** se situe entre 20 et 24% ce qui correspond bien à la valeur des mélanges 15 et 20%.

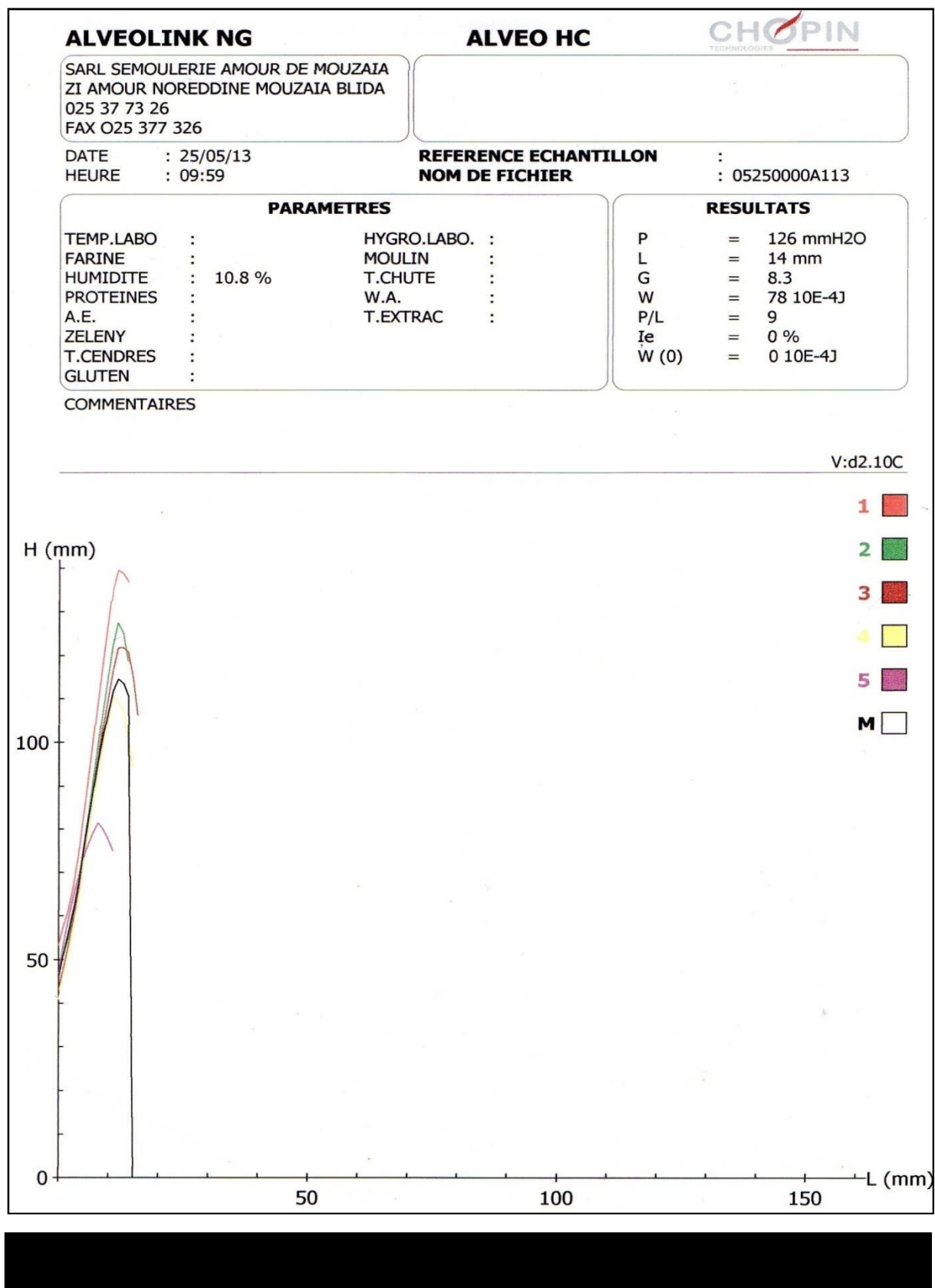
La capacité d'hydratation du gluten, est en relation avec la qualité du gluten de la farine. Généralement, elle est comprise entre 62 et 65 % et peut même s'élever à 69 % **(Lecoq, 1965)**, ce qui est le cas des différents types de farine.

II.2.4. Alvéogramme Chopin :

Ce test permet de décrire les caractéristiques plastiques d'une pâte, qui dépendent considérablement de la teneur en protéines et notamment le gluten. Il donne des indications sur la consistance de la pâte lors de pétrissage mesuré par l'indice P, son élasticité, son allongement au façonnage (L) et la force de la farine (W).

Les résultats de l'alvéographe CHOPIN des farines sont illustrés dans les figures 24,25, 26, 27, 28 et 29 sont représentés dans le tableau 05 (annexe I).





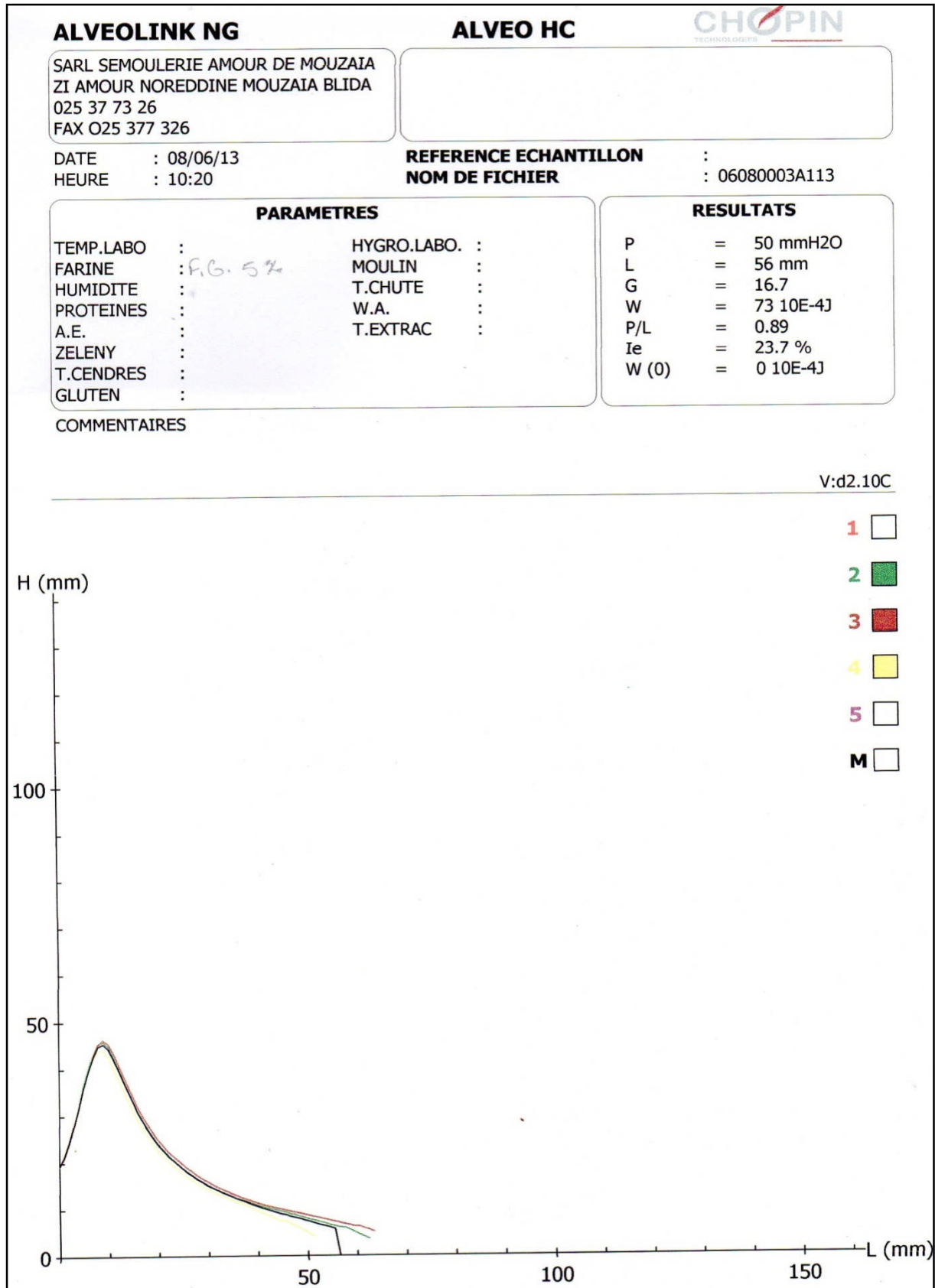


Figure 26 : Alvéogramme de la farine de germe de blé incorporé a 5%.

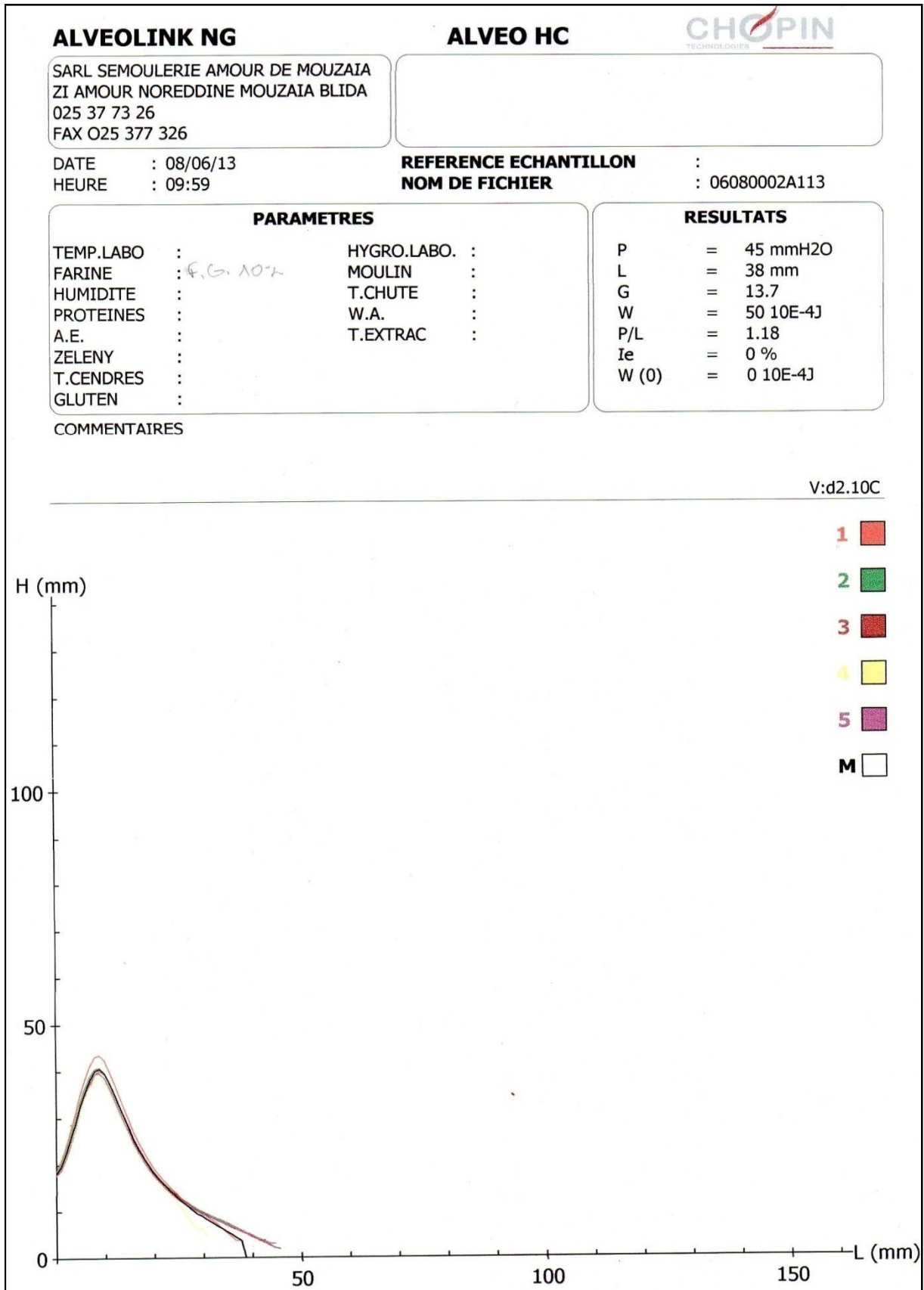
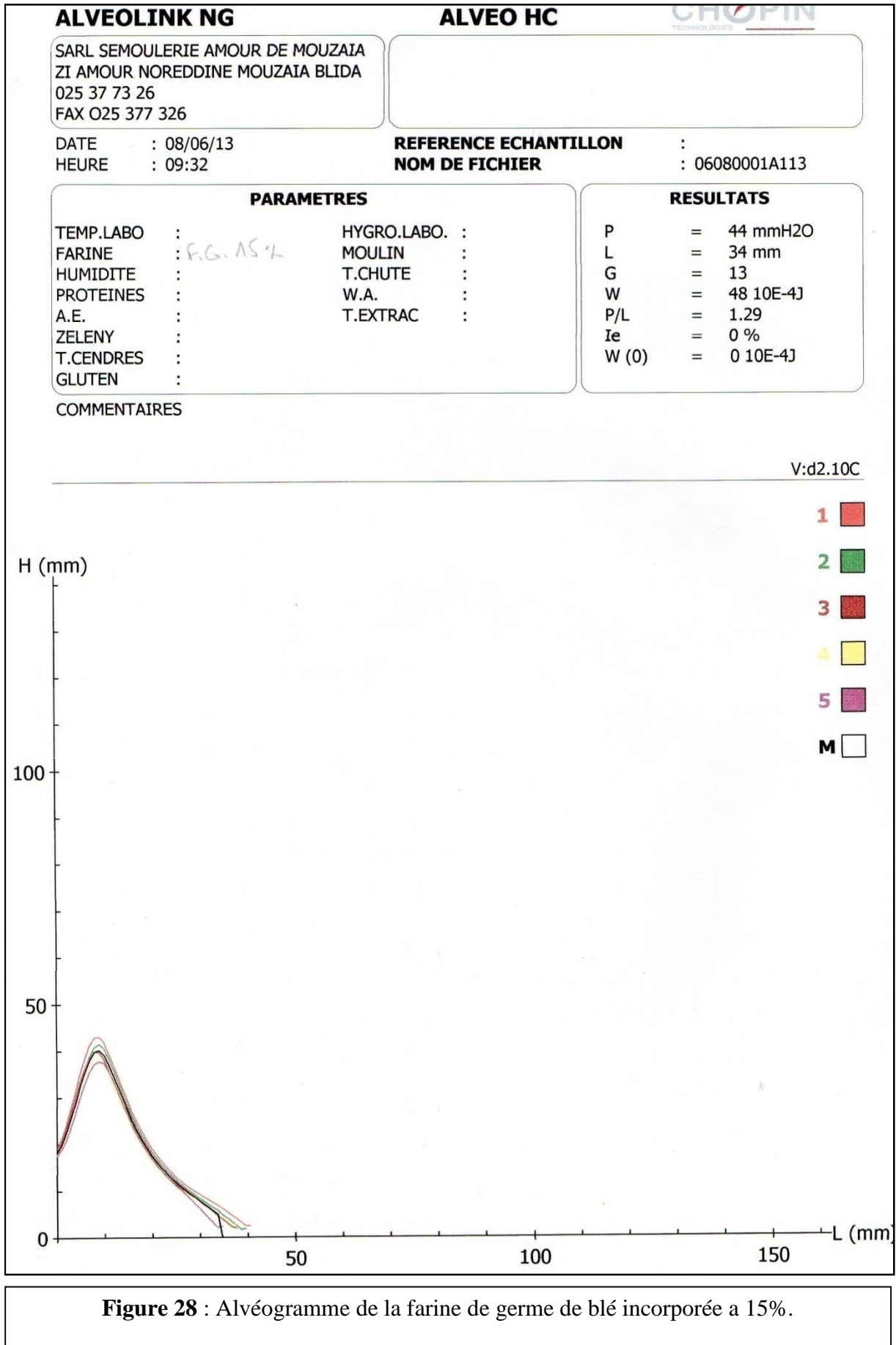


Figure 27: Alvéogramme de la farine de germe de blé incorporée à 10%.



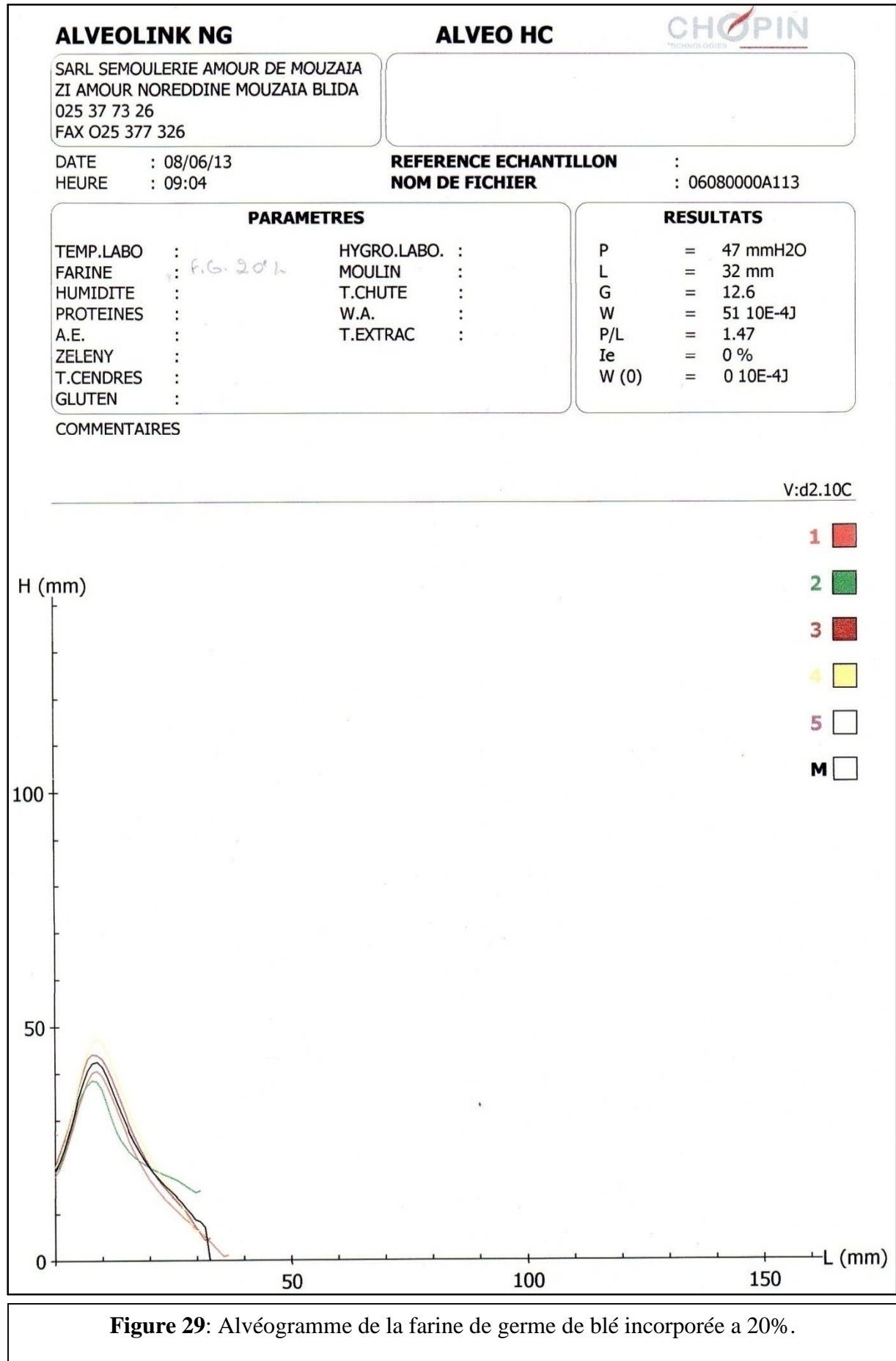


Figure 29: Alvéogramme de la farine de germe de blé incorporée à 20%.

Plusieurs auteurs (**DUBOIS, 1988; GODON, 1991 ; FEILLET, 2000 ; BOURSON, 2009**) s'accordent à dire que les paramètres pour farine biscuitière doivent correspondre à : une force boulangère « W » comprise entre 60 et $150 \cdot 10^{-4}$ J, un gonflement «G» inférieur à 24 cm^3 , une ténacité « P » de 30 à 60 mm H₂O, et une extensibilité « L » de 90 à 125 mm, et un rapport de configuration « P/L » entre 0,25 et 0,80. Ces paramètres mesurés varient en fonction ; des caractéristiques biochimiques des farines, des critères agronomiques et génétiques (**RENARD et THERY, 1998**).

L'analyse des résultats obtenus montrent que dans le cas de la farine de blé tendre le «L» obtenu n'est pas très éloigné de la limite requise pour une farines biscuitière. Les autres paramètres (W, P, G, P/L) de la farine s'insèrent bien dans la fourchette établie pour les farines biscuitières.

La farine de germe de blé par contre ne présente pas les caractéristiques d'une farine biscuitière sauf pour la force boulangère (W).

Les caractéristiques des pâtes de mélanges mesurées à l'alvéographe sont très influencées par le taux d'incorporation de la farine de germe de blé. Les alvéogrammes des mélanges montrent bien des allures de courbes tout à fait différentes avec des caractéristiques variables.

1) La ténacité (P) :

La ténacité « P » varie en fonction du taux d'incorporation en germe de blé de la farine. Elle passe de 50mm pour la farine à 5% à 42 mm pour la farine à 20 % d'incorporation de la farine de germe de blé. Ces valeurs restent incluses pour des farines à usage biscuitier et dont les valeurs recommandées sont de 30 à 60 mm.

Cette ténacité est liée à:

- ✓ la quantité et à la qualité du gluten (essentiellement au taux des Gluténines) qui sont responsables de la ténacité et l'élasticité (**BRANLARD et al, 1992**) et dont la teneur diminue au fur et à mesure que le taux d'incorporation augmente.
- ✓ la granulométrie de la farine et à la teneur en amidon endommagé ainsi que celles de la fraction pentosanes (**GODON et LOISEL, 1997**).

2) L'extensibilité (L) :

L'extensibilité de la pâte « L » dans le cas des mélanges réalisés diminue avec l'augmentation de taux d'incorporation, Ces valeurs se retrouvent en dehors de la fourchette d'une farine biscuitière (90 à 120 mm). Cette extensibilité qui est restée liée au rapport Gliadines/Gluténines et à la teneur en pentosanes de la pâte est un caractère important dans la formation du biscuit et surtout de sa forme (**GODON et LOISEL, 1997**).

3) L'indice de gonflement (G) :

L'indice de gonflement renseigne sur l'extensibilité de la pâte, et l'aptitude du réseau glutineux à retenir le gaz carbonique formé (**KITTISSOU, 1995**).

Le gonflement de la pâte diminue avec l'augmentation du taux d'incorporation. Les valeurs sont en dehors de la fourchette d'une farine biscuitière qui requiert un gonflement compris entre 18 et 23 cm³.

4) Le rapport de configuration « P/L » :

Le rapport de configuration « P/L » traduit l'équilibre général de l'alvéogramme c'est à dire l'équilibre entre la ténacité et l'extensibilité des pâtes formées (**DUBOIS, 1996**).

Le rapport de configuration « P/L » des mélanges se situe entre 0.89 et 1.47. Il augmente proportionnellement avec le taux d'incorporation de la farine de germe de blé. Ces valeurs sont en dehors de la fourchette d'une farine biscuitière qui requiert un rapport de configuration compris entre 0.25 et 0.8.

5) La force boulangère « W » :

Le paramètre « W » permet de déterminer la force boulangère d'une farine, il est très utilisé dans les transactions commerciales et sert à classer les farines selon leur utilisation.

Les mélanges utilisés dans notre cas présentent des forces boulangères faibles. Elles varient considérablement d'un échantillon à un autre (de $73 \times 10^{-4} \text{J}$ pour 5% de farine de germe de blé à $51 \times 10^{-4} \text{J}$ pour 20% de germe de blé) et diminuent au fur et à mesure que le taux d'incorporation augmente. Pour le taux d'incorporation de la farine de germe de blé 5%, la force boulangère est incluse dans la fourchette recommandée ($60 \times 10^{-4} \text{J}$ à $150 \times 10^{-4} \text{J}$). Par contre les valeurs des taux 10, 15 et 20% sont inférieurs à cette fourchette.

D'après **FEILLET (2000)**, la variabilité de la force boulangère « W » peut s'expliquer par la teneur en Gliadines et en Gluténines et également par la disponibilité de certains acides aminés soufrés (méthionine, cystéine) qui fournissent des ponts disulfures intramoléculaires par lesquels s'associent les gliadines, et par la diminution des interactions intermoléculaires qui favorisent la force de la pâte. Une des causes de la baisse de la force de la pâte est la composition du germe de blé et la qualité des protéines qui le composent (albumines + globulines) (**IBANOGLU, 2002 ; ADRIAN, 2004**). Les albumines et les globulines ont peu d'effet sur la force boulangère de la farine du blé tendre (**MACRITCHIE, 1990 ; GODON, 1991**). La dénaturation des protéines du germe de blé par le traitement thermique de stabilisation peut aussi affecter la qualité des protéines.

II.3. Etude des biscuits :

L'essai de fabrication a permis d'élaborer 5 types de biscuits :

- Biscuit témoin (BT) : 100% farine de blé tendre.
- Biscuit de la farine de germe de blé incorporée à 5% (BG 5%)
- Biscuit de la farine de germe de blé incorporée à 10% (BG 10%)
- Biscuit de la farine de germe de blé incorporée à 15% (BG 15%)
- Biscuit de la farine de germe de blé incorporée à 20% (BG 20%)

II.3.1. Evaluation expérimentales des biscuits :

Les caractéristiques physiques des biscuits obtenus sont mentionnées sur le tableau 18.

Tableau 18 : Caractéristiques physiques des biscuits obtenus

	BT	BG 5%	BG 10%	BG 15%	BG 20%
Poids^(*) (g)	12.24	12.08	11.85	11.86	11.79
Diamètre^(*) (cm)	6.4	6.5	6.65	6.71	6.8
Epaisseur^(*) (cm)	0.72	0.71	0.68	0.67	0.65
Volume (cm³)	23.15	23.54	23.6	23.68	23.59
Poids de cinq biscuits (g)	60.7	60.1	59.67	58.84	58.77
Epaisseur de cinq biscuits (cm)	3.57	3.54	3.3	3.38	3.4
Volume de cinq biscuits (cm³)	114.78	117.40	114.55	119.46	123.41
Développement (cm³/g)	1.89	1.95	1.91	2.03	2.09

^(*) Moyenne de deux essais

L'analyse des résultats montre qu'à chaque fois qu'on augmente le taux d'incorporation, le poids des biscuits diminue, en effet il passe de 12.24 g pour le témoin à 11.79 g pour les biscuits à 20% de farine de germe de blé. Ceci est dû à la faible densité de la farine de germe de blé en comparaison à la farine de blé tendre. Les valeurs obtenues sont dans l'ensemble acceptables.

L'incorporation de la farine de germe de blé fait aussi diminuer l'épaisseur des biscuits, de 0.72 cm pour le biscuit témoin on passe à 0.65 cm pour les biscuits à 20% de farine de germe de blé. Une légère augmentation est notée de Diamètre des biscuits. De 6.4 cm pour les biscuits témoin on atteint 6.8 cm pour ceux enrichis à 20%.

Tous les biscuits obtenus présentent un bon développement. De 1.89 cm³/g pour les biscuits témoins on obtient plus jusqu'à 2,09cm³/ g pour les biscuits à 20% de farine de germe de blé. Les biscuits incorporés de farine de germe de blé de 15% et 20% sont généralement plus aérés et plus développés que les autres biscuits.

Ces changements des caractères physiques au fur et à mesure que le taux de farine de germe de blé augmente dans la formule des biscuits sont dus au changement de la force boulangère de la farine qui devient de plus en plus faible. Une baisse de la qualité et la quantité du gluten peut être aussi un élément pouvant expliquer ce changement dans la qualité des biscuits.

II.3.2. Evaluation sensorielle des biscuits :

Les résultats des analyses organoleptiques et sensorielles de nos biscuits sont représentés dans le tableau19.

Tableau 19 : Résultats des analyses organoleptiques et sensorielles des biscuits

caractéristiques	biscuits	Nombre des sujets préférant chaque catégorie			
		Médiocre (1)	Acceptable (2)	Bon (3)	Très bon (4)
Etat de surface	BT	0	2	20	8
	BG 5%	0	0	14	16
	BG 10%	5	14	11	0
	BG 15%	9	11	8	2
	BG 20%	7	13	9	1
Couleur	BT	0	5	17	8
	BG 5%	0	0	16	14
	BG 10%	1	5	12	12
	BG 15%	3	5	22	0
	BG 20%	5	14	11	0
Dureté	BT	0	8	15	7
	BG 5%	2	5	13	10
	BG 10%	0	5	16	9
	BG 15%	0	6	12	12
	BG 20%	0	5	13	12
Gout	BT	0	3	12	15
	BG 5%	0	0	14	16
	BG 10%	0	0	13	17
	BG 15%	3	0	12	15
	BG 20%	5	2	12	11
Odeur	BT	4	3	10	15
	BG 5%	0	3	11	16
	BG 10%	0	2	7	21
	BG 15%	1	4	11	14
	BG 20%	3	0	14	13

Les résultats du tableau ne permettent pas d'obtenir une estimation sur chacun des caractères organoleptiques, soumis à l'estimation pour chaque échantillon du biscuit. Les effets d'augmentation des pourcentages d'incorporation de la farine de germe de blé ne peuvent être appréciés.

Afin de traiter ces résultats des comptages obtenus par le jury d'analyse sensorielle, un traitement des résultats doit être appliqué. Pour ça, l'épreuve de cotation appliquée dans notre analyse sensorielle a été converti en épreuve de notation, en attribuant a chaque catégorie une note de (1 a 4), allant croissante avec la qualité (médiocre a très bon), puis on a calculé la moyenne pour chacune des caractéristiques étudiées, en effet , on a attribué :

- La note 1 pour la catégorie médiocre.
- La note 2 pour la catégorie acceptable.
- La note 3 pour la catégorie bonne
- La note 4 pour la catégorie très bonne.

Les résultats du traitement sont présentés dans le tableau 20

Tableau 20 : les moyennes de préférences des biscuits selon les caractéristiques organoleptiques.

échantillon	Etat de surface	Couleur	Dureté	Gout	Odeur
Biscuit témoin	24	23.25	22.25	24.25	25
Biscuit a 5%	26.5	26	22.75	26.5	26.5
Biscuit a 10%	16.5	23.75	23.5	26.75	27.75
Biscuit a 15 %	15.75	19.75	24	24.75	24.5
Biscuit a 20%	16	16.5	24.25	22.75	24.25

A partir des résultats du tableau 22, nous obtenons les courbes des préférences des sujets pour chacune des caractéristiques choisies, afin d'étudier l'influence d'incorporation de la farine de germe de blé sur la qualité des cinq caractères choisies.

Les courbes à partir des résultats du tableau sont présentées dans les figures 30, 31, 32, 33 et 34.

❖ Etat de surface :

Les effets des taux d'incorporation de la farine de germe de blé est représentés par la figure30.

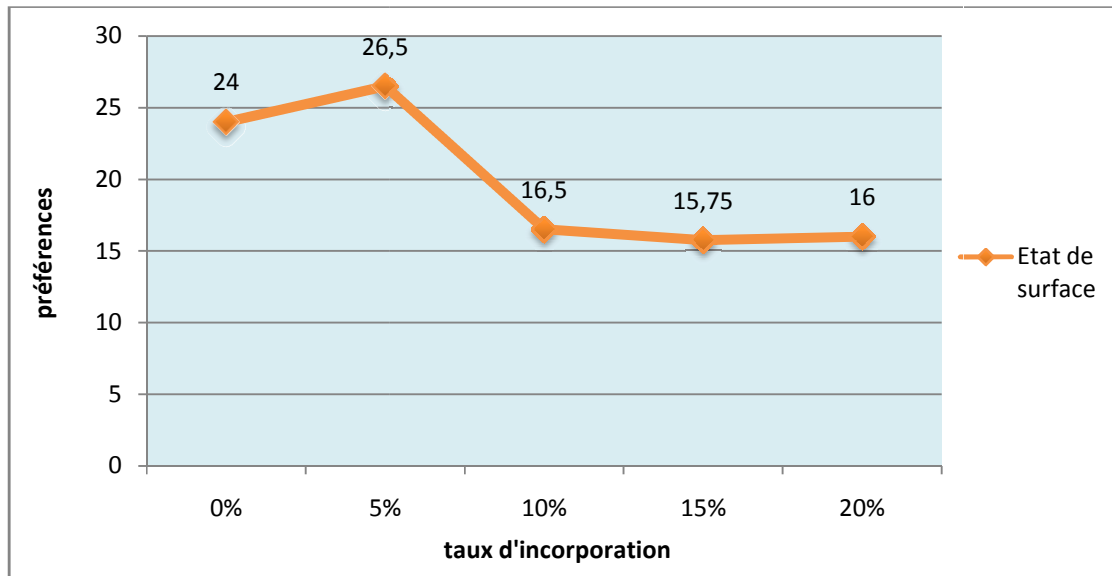


Figure 30 : courbe de préférence de l'état de surface des biscuits en fonction du taux d'incorporation de la farine de germe de blé.

D'après la figure. On remarque que l'incorporation de la farine de germe de blé au-delà d'un taux de 5% altère progressivement l'état de surface des biscuits. Pour l'incorporation à 5% l'état de surface reste à une valeur comparable à celle du témoin.

L'altération de l'état de surface se traduit par des fissures, ces derniers résultent de deux propriétés de la pâte : d'une part, la pâte à la farine de germe de blé a une faible extensibilité, d'autre part, elle contient une quantité élevée du gaz carbonique résultant d'une fermentation excessive, cette dernière favorisée par une forte activité enzymatique de germe de blé et sa richesse en substrat de fermentation.

❖ La couleur :

La couleur est un paramètre très important dans l'acceptation des produits céréaliers, son apparition commence vers les dernières étapes du processus de cuisson.

La figure 31 représente l'effet de l'incorporation de la farine de germe de blé du différents taux sur la couleur des biscuits

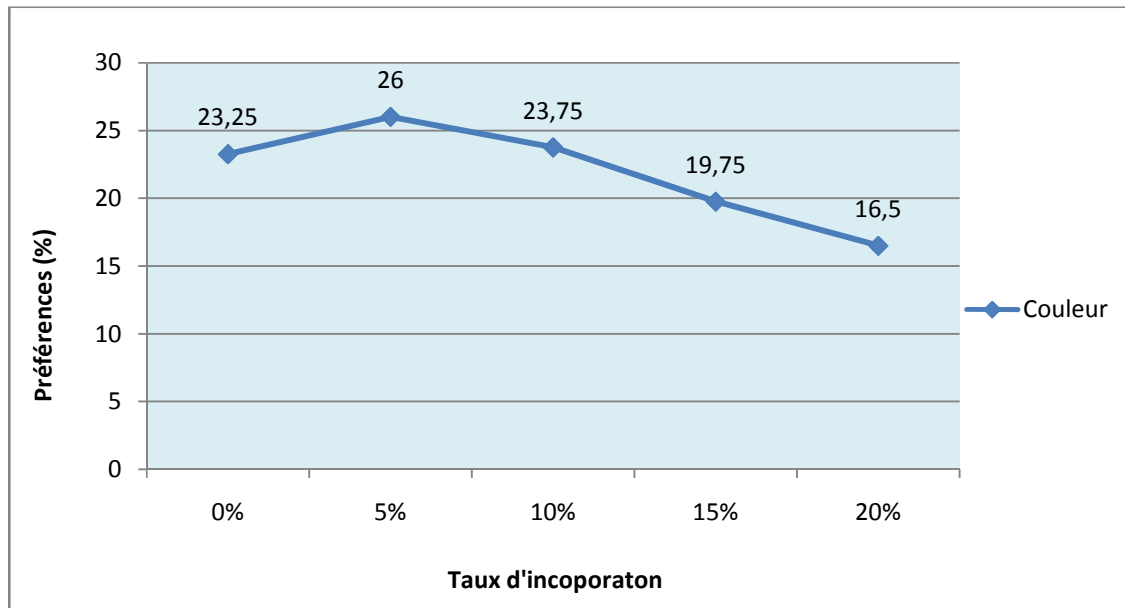


Figure 31 : courbe de préférence de la couleur des biscuits en fonction du taux d'incorporation de la farine de germe de blé.

On observe que les forts pourcentages d'incorporation de la farine de germe de blé altèrent la couleur. Les taux 5 et 10% améliorent d'une manière significative la couleur avec un optimum à 5%.

Le développement de la couleur est le résultat de nombreuses réactions complexes du type réaction de Maillard ou caramélisation (**CHEFTEL et CHEFTEL, 1977**) distinguant deux étapes lors du développement du brunissement non enzymatique. Ces réactions sont fonction de plusieurs paramètres liés au processus de cuisson tels que la température et l'humidité mais sont aussi très sensible aux composés de la formulation.

❖ La dureté :

En tant qu'une caractéristique de la texture, le caractère « dur » qualifie un produit qui offre une forte résistance à la rupture et /ou à la déformation.

La figure 32 présente l'influence du taux d'incorporation de la farine de germe de blé sur la préférence de la dureté des biscuits enrichis.

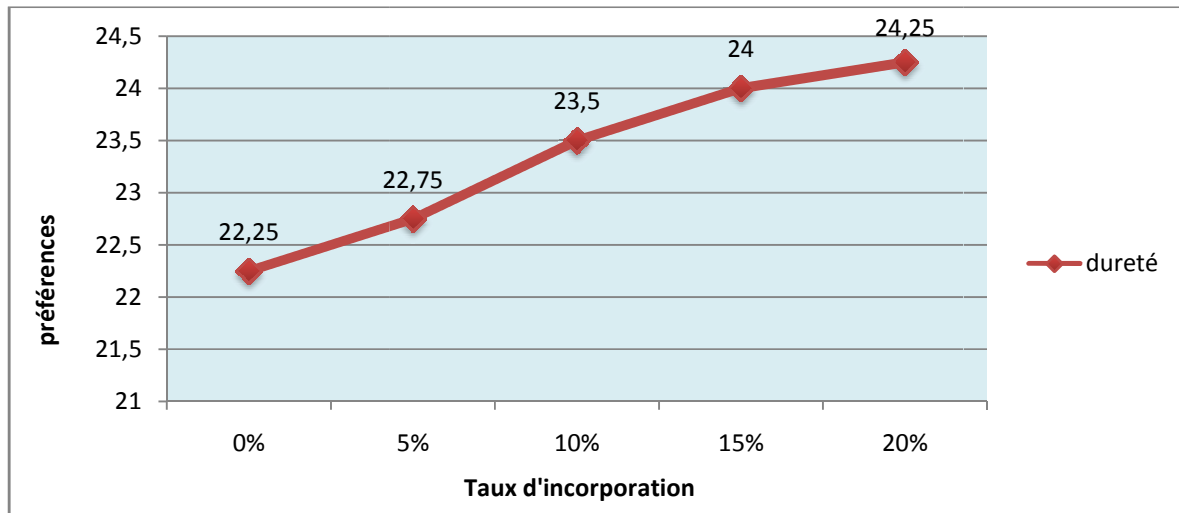


Figure 32 : courbe de préférence de la dureté des biscuits en fonction du taux d'incorporation de la farine de germe de blé.

L'incorporation de la farine de germe de blé à un taux allant jusqu'à 20% améliore la dureté des biscuits. Cette amélioration est due à la friabilité des biscuits résultant de la forte production du gaz carbonique, durant la fermentation qui donne une texture alvéolée est donc friable.

❖ Le goût :

Le goût est l'ensemble des sensations gustatives, olfactives et de sensibilité chimique commune perçue lorsque l'aliment est dans la bouche.

L'influence du taux d'incorporation de la farine de germe de blé sur la qualité de goût, des biscuits enrichis est présentée dans la figure 33.

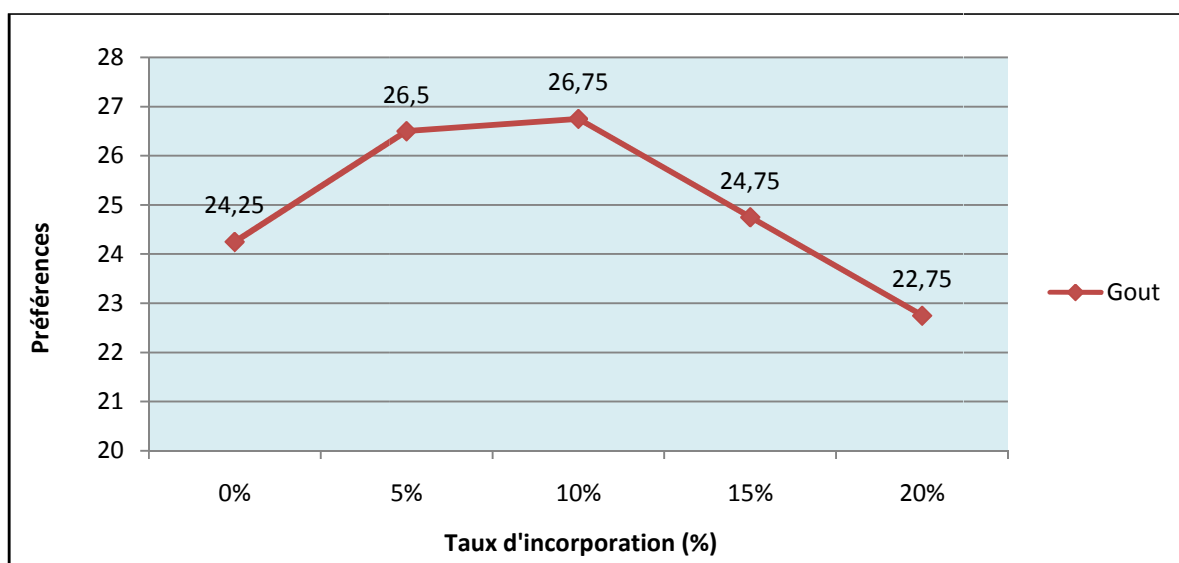


Figure 33 : courbe de préférence du goût des biscuits en fonction du taux d'incorporation de la farine de germe de blé.

D'après la figure nous remarquons que l'incorporation de la farine de germe de blé à un taux allant jusqu'à environ 15% améliore le goût des biscuits avec un optimum à un taux d'incorporation de 10%. Cette amélioration peut être due à la saveur de noisette apportée par le germe de blé et la richesse de ce dernier en protéases, qui libèrent des peptides intervenant dans la saveur des biscuits (GODON, 1991).

❖ L'odeur :

Les effets d'augmentation du taux d'incorporation du germe de blé sur l'odeur des biscuits enrichis sont présentés dans la figure 34.

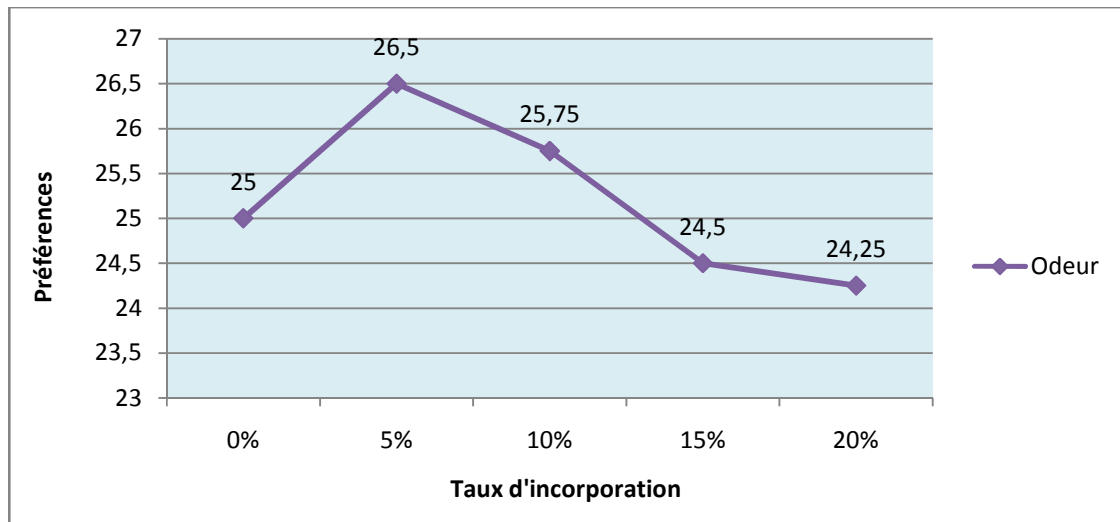


Figure 34 : courbe de préférence de l'odeur des biscuits en fonction du taux d'incorporation de la farine de germe de blé.

Nous remarquons que les pourcentages d'incorporation de la farine de germe de blé 5 et 10% améliorent l'odeur des biscuits enrichis, pour les taux d'incorporation 15 et 20 % l'odeur reste à des valeurs comparables à celle de biscuits témoin.

L'arôme des biscuits, qui est représenté par un ensemble de composés volatils odorants au niveau de la croûte et de la mie, se forme généralement au niveau de la cuisson. Ces composés volatils sont le résultat d'un certain nombre de réactions non enzymatiques touchant essentiellement les sucres et la matière grasse.

En résumé, on peut dire que la meilleure qualité de l'état de surface des biscuits est obtenue à un taux d'incorporation de 5%, et que ce taux s'élève à 10% pour la couleur, le goût et l'odeur, et à 20% pour la dureté des biscuits.

L'altération de la couleur, le goût et l'odeur des biscuits ne peut avoir lieu qu'à des pourcentages élevés d'incorporation de la farine de germe de blé (15 et 20%). Alors que celle de l'état de surface se réalise à un taux plus bas (à partir de 10%).

D'après les résultats précédents, il paraît clairement que l'incorporation de la farine de germe de blé tendre induit des changements dans la majorité des caractéristiques sensorielles du biscuit.

Tenant compte des propriétés sensorielles analysées pour les différents biscuits, nous avons retenu le biscuit à 5% de la farine de germe de blé tendre comme étant celui qui présente les meilleures caractéristiques.

Remarque :

L'ensemble de jury de dégustation ont jugé les biscuits à 15 et 20% comme étant moyen, ceci serait dû à la mauvaise cuisson de ces biscuits.

II.4. Résultats des analyses microbiologiques :

II.4.1. Farines

La farine est le principal ingrédient qui rentre dans la fabrication des biscuits, elle est susceptible d'être une source de contamination à cause des conditions de son stockage et son transport.

Le tableau 21 regroupe les résultats du contrôle microbiologique effectué sur les farines.

Tableau 21 : Résultats d'analyse microbiologique des farines.			
Germes recherchés	FB	FG	Norme de JORA N° 035 du 27-05-1998
Moisissures	Abs	Abs	≤100 germe/ ml
<i>Clostridium sulfito-réducteur</i>	Abs	Abs	≤100 germe/ ml

L'analyse de ces résultats révèle une absence des moisissures et des *Clostridium sulfito-réducteur*, c'est ainsi que nous pouvons se prononcer sur la qualité des farines rentrants dans la fabrication du biscuit, c'est ainsi que la farine de germe de blé et la farine de blé tendre analysées présentent une bonne qualité microbiologique. Conformément à la norme de JORA N° 035 du 27-05-1998 sur les produits de mouture.

II.4.2. Biscuit :

Le tableau 22 regroupe les résultats du contrôle microbiologique effectué sur le biscuit témoin et de biscuit de farine de germe de blé tendre incorporés à 5, 10, 15 et 20%.

Tableau 22: Résultats de l'analyse microbiologique des biscuits.

	BT	BG 5%	BG 10%	BG 15%	BG 20%	Norme de JORA N° 035 du 27-05-1998
Germes aérobies à 30°C	Abs	Abs	Abs	Abs	Abs	≤1000 germe/ ml
<i>Staphylococcus aureus</i>	Abs	Abs	Abs	Abs	Abs	≤100 germe/ ml
Moisissures	Abs	Abs	Abs	Abs	Abs	≤100 germe/ ml

Les résultats d'analyses microbiologiques des biscuits montrent que les différents types de biscuit sont de bonne qualité microbiologique, puisqu'ils sont dépourvus de germes aérobies à 30°C, de germes d'altération (moisissures), et de germes pathogènes (*Staphylococcus aureus*) conformément aux normes fixés par la législation nationale du journal officiel de la république Algérienne.

Ceci est dû au respect des bonnes pratiques de fabrication, de conditionnement et de stockage ainsi que des bonnes pratiques d'hygiène des locaux, des installations et des manipulations au niveau de l'unité « BIMO » .

Conclusion

Le présent travail a englobé la caractérisation biochimique du germe de blé tendre, l'obtention et la caractérisation physico-chimiques, technologiques et microbiologiques des farines (farine de blé tendre, farine de germe de blé tendre et les différents taux d'incorporations 5, 10, 15 et 20% de la farine de blé tendre avec la farine de germe de blé), ainsi que la formulation et la caractérisation microbiologique, physique et sensorielle de produit fini (biscuit).

Les analyses biochimiques effectuées sur le germe de blé tendre nous ont permis de révéler : une teneur en eau de 11.62 %, une fraction protéique avec un taux de 25.93% MS, lipidiques avec un pourcentage en matière sèche de 9.65 %, glucidique (49.08% MS) et des minéraux avec une teneur de 3.3% MS.

Les analyses physicochimiques de nos farines présentaient une humidité correspondante à celle généralement notée dans les farines et produits broyés, cette faible teneur en eau diminue les risques d'altération, le pH des différents types de farine tendent vers la neutralité. La farine de germe de blé tendre est riche en matières minérales (2.88%) et en protéines (23.75%) et présente une acidité grasse très élevée (0.2% MF).

Concernant les caractéristiques technologiques, l'indice de chute de la farine de blé tendre, de la farine de germe de blé incorporés à 5, 10 et 15% est conforme à la norme ce qui signifie que l'activité alpha-amylasique est mauvaise dans ces farines. Le germe de blé tendre ne contient pas de gluten par contre les proportions présentaient des valeurs conformes aux normes recommandées. La farine de germe de blé tendre incorporée à 5% et la farine de blé tendre présentent des bonnes propriétés rhéologiques.

Les résultats physiques et sensoriels des biscuits ont permis conclure que le meilleur taux d'incorporation de la farine de germe de blé tendre à la farine de blé tendre est celui de 5%, et le biscuit fabriqué était tel qu'il est apprécié par les jurys de dégustations, il se caractérise par un très bon goût, une bonne couleur, une odeur caractéristique et agréable et un très bon développement.

Les analyses microbiologiques des deux farines ont montré qu'elles sont exemptes de microorganismes donc un traitement de stockage spécifique n'est pas nécessaire. Ainsi que le contrôle microbiologique des biscuits préparés a confirmé une bonne qualité hygiénique cela due au respect d'hygiène dans l'unité de travail.

En conclusion, ce travail a montré que la substitution de la farine de blé tendre par celle de germe de blé tendre stabilisée, dans notre cas thermiquement a touché trois objectifs :

- une valorisation du germe de blé, par la minoterie s'est il est récupéré ce qui va améliorer son potentiel économique.
- une amélioration de la qualité physique et nutritionnelle des biscuits.

- une correction des farines à tendance boulangère généralement et qui sont subventionnées par l'état pour qu'elles répondent au cahier de charges des farines destinées à la biscuiterie.

En perspective, il serait souhaitable de :

- Etudier les différents procédés de stabilisation du germe de blé ;
- Etudier et suivre la qualité biochimique et nutritionnelle des biscuits fabriqués à base de germe de blé à des taux plus faibles ou plus élevés ;
- Refaire les tests sensoriels avec des panélistes professionnels ;
- Faire une étude économique sur le coût du produit fini ;
- Fabriquer une gamme de produits à base de farine de germe de blé en particulier pour les personnes ayant une intolérance au gluten (biscuit diététique).

A

- **ABOUDAOU, M. (2011).** Essai d'incorporation du germe du blé tendre dans une farine à tendance biscuitière. Mémoire de Magister en sciences alimentaires, INA. El Harrach Alger.108p.
- **ADRIAN J. (2004).** La composition du germe de blé et sa valeur nutritionnelle. Industrie des céréales N°137. Avril/mai. pp 9-13.
- **ADRIAN J., FRAGNE R. (1995).** La science alimentaire de A # Z. Ed .Tec et Doc Lavoisier. p 477.
- **AKLIT, M; HAMMOUCHI, K. 2011.** Effet de substitution du sucre blanc par la farine des dattes « Mech-degla »sur les caractéristiques organoleptiques d'un biscuit au beurre. Mémoire d'Ingénieur en sciences alimentaires, Blida, 80p.
- **AL-KAHTANI A (1989).** Studies of Saudi Arabian locally produced wheat germ. Food chemistry, vol: 34, pp 121-130.
- **ANONYME (2007).** Le nouvel épicier n°482 p 15. Source : syndicat national de la biscuiterie française. Visuels : société kambly.
- **ANONYME (2008).** ENSMIC. Alimentation humaine, condense de cours « les améliorants » Annick le blanc.
- **ANONYME (2011).** <http://www.biolineaires.com/articles/nutrition/256-germes-de-ble.html>
- **ARNAUD P. (1985).** Cours de chimie organique. Ed. Gautier Villars.
- **ARSHAD M.U., ANJUM F.M., and ZAHOOR T. (2007).**Nutritional assessment of cookies supplemented with defatted wheat germ. Food Chemistry (102). Pp 123-128
- **AYROY W.R et DOUGHTY J, 1970** le blé dans l'alimentation humaine F.A.ORME ,1970

B

- **BAJAJ M., KAUR A., and SIDHU J.S. (1991).** Studies on the development of nutritious cookies utilizing sunflower kernels and wheat germ. Plant Foods for Human nutrition (41). pp 381-387.
- **BANKS, W. and GREENWOOD, C.T. 1975.** Starch and its components. Aberdeen University Press, Grande Bretagne.
- **BARNES P.J. (1983).** Wheat germ oil, Lipids in cereal technology, pp389-400.

- **BENKADRI S, (2010).** Contribution à la diversification de l'alimentation pour enfants cœliaques : fabrication de farines-biscuits sans gluten. Mémoire de Magister en Sciences Alimentaires, Constantine, 88p.
- **BENOUALID K. (1987).** Valeur biscuitière des blés tendres point sur les études en cours au CTUC. Ind. des céréales. N°45. pp 17-33.
- **BIARNAIS J.P. (1987).** Critère de choix des Farines en Biscuiterie Industrielle. Ind. des céréales. N° 45. pp 35-37.
- **BLOKSMA A.H.** 1990. Dough structure, dough rheology, and baking quality. *Cereal Foods World*, 35, pp 237-244.
- **BOUDRREAU A., et MENARD G. (1992).** Le blé. Elément fondamentaux et transformation. Ed les presse de l'université Laval, Québec Canada. p442.
- **BOURGEOIS C M (1996).** Microbiologie alimentaire : aspect microbiologique et de la qualité alimentaire : tome 1.Tec&Doc. Lavoisier. Paris, 452p.
- **BOURSSON Y. (2009).** Mouture de blé tendre et technique d'obtention de la farine. Technique de l'ingénieur. Décembre F6 175-1.
- **BRANLARD G., PIERRE J., and ROUSSET M. (1992).** Selection indices for quality evaluation in wheat.Breeding. Theoretical Applied Genetics **84**, 57-64. **BRISSONET F., BOUIX M., LOISEAU G., RUSSEL A. (1994).** Le stress bactérien et ses conséquence en génie de l'hygiène IAA N°3. pp 106-114.
- **BRULE G, SCHUCK P; CROGUENNE, T ; IEANTET R, (2006).** Science des aliments : biochimie, microbiologie, procédés des produits. Paris : Tec et Doc .Lavoisier, 381p.
- **BURE J. et GUINET R.,(1977).** Le pain de demain ? Industrie alimentaire et agricole N°10. pp 999-1005.

C

- **CABROL C. (2006).** Pain et nutrition. septembre 2006. pp 8-13.
- **CALVEL R. (1964).** Que sais-je? Le pain. presse universitaires de France, Paris, 126p.
- **CHABANE R., et TERRACHE N. (2000).** Extraction et caractérisation physico-chimique de l'huile de germe de blé. Thèse d'ingénieur, INA.
- **CHARUN E.P.J., et MOREL M.H. (2001).** Quelles caractéristiques pour une farine biscuitière ? Influence de la dureté des blés et de la composition biochimique des farines sur leur aptitude biscuitière. Ind. des céréales. N°125. Nov/dec. pp 2-16.

- **CHEFTEL J.C, et CHEFTEL H. (1977).** Introduction à la biochimie et à la technologie des aliments vol (1). Paris, Lavoisier Tech et doc. 381p.
- **CHEFTEL J.C, et CHEFTEL H. (1979).** Introduction à la biochimie et à la technologie des aliments vol (2). Paris, Lavoisier Tech et doc. 369p.
- **COUTOULY. G., MARCUSSEN.L., SCHOLLAR. J., SERAFIMOV.O et TURNER.J, 1998.** Biscuits et biotechnologies. Eurpean Initiative for Biotechnology Education, 29p.
- **CHENG, O.K., POMERANZ, Y. and FINNEY, K.F. 1978.** Wheat flour lipids in bread baking. *Cereal Chemistry*, 55, 598-618.

D

- **DEROO I. (1985).** L'homme, la farine, le pain. Thèse de pharmacie, LILLE, 130p.
- **DEXTER J. E., PRESTON K. R., MARTIN D. G., and GANDER E. J. (1994).**The effects of protein content and starch damage on the physical dough properties and bread-making quality of Canadian durum wheat. *Journal of cereal science*, vol: 20, N°2, pp 139-151.
- **DRAPRON R., N'GUYEN X., and GUILBOT A. (1969).** Development and distribution of wheat lipase activity during the course of germination. *Cereal Chemistry* N°46. Pp 647-655.
- **DUBOIS M. (1988).** Contribution de la rhéologie empirique à la détermination de la qualité des blés et des farines dans le monde. *L'Alvéographe Chopin. Ind. des céréales.* N°53. pp 15-26.
- **DUBOIS M. (1996).** Le contrôle qualité La panification française. In : *La panification française*, **GODON R., ROLAND G.,** Tec et doc Lavoisier. Ed Masson. pp. 507-520.

E

- **EUROGERME. (2009).** Les principaux paramètres et le rôle des de la qualité de la farine et correcteurs de meunerie. *RESAGRO.N°4*, septembre. pp42-45.

F

- **FEILLET P. (2000).** Le grain de blé composition et utilisation .INRA paris. p308.
- **FREDOT E. (2005).** Connaissances des aliments ; bases alimentaires et nutritionnelles de la diététiques. Paris, pp 159-165.

- **FUSTIER P.J. (2006).** Influence des fractions de mouture de blé tendre (Farines patente, de-coupeure et basse) sur les propriétés rhéologiques des pâtes et caractéristiques des biscuits. Thèse doctorat université Laval QUÉBEC.

G

- **GACEM M., OULD EL HADJ KHELIL A. et GACEMI B, (2011)** . Etude de la qualité physico-chimique et mycologique de blé tendre local et importé stocké au niveau de l'O.A.I.C de la localité de SAIDA. Vol. 1, n° 2, Décembre 2011: pp 67-76
- **GAINES C.S. (1990).** Influence of chemical and physical modification of soft wheat protein on sugar-snap cookie dough consistency, cookie size, and hardness. *Cereal.Chem.*67 (1). pp 73-77.
- **Garuda international. (1998).** « products overviews-wheat germ » garuda@garudaint.com
- **GATEL R. (1982).** L'aliment a l'humidité intermédiaire concept fondamental et fiction scientifique. APRIA, pp 39-50
- **Giddey C . (1982).** Les produits a humidité intermédiaire. Cas particulier de problème de la conservation de produits à humidité intermédiaire. APRIA. Pp 21-28.
- **Godon B et Guinet R. (1994).** La panification française. Paris : Tec & Doc- Lavoisier, p521.
- **GODON B., LOISEL W. (1997).**Guide pratique d'analyse dans les industries des céréales : tests de laboratoire. Paris, Lavoisier. (Collection sciences et techniques agro-alimentaires). p679.
- **GODON B, (1995).** Le pain. Pour la science, dossier hors-série de mars (science et gastronomie), pp. 16 -25.
- **GODON B., WILLM C. (1991).**Biotransformation des produits céréaliers : les constituants des céréales : nature, propriétés et teneurs. Paris, Lavoisier. p. 1-22. (Collection sciences et techniques agro-alimentaires).
- **GODON B., (1991).** Les industries de première transformation des céréales, Ed. Lavoisier, 679p.
- **GUIRAUD J. P. (2003).** Microbiologie alimentaire. Nouvelle édition Dunod-Ria. Paris, 323p.

H

- **HETTIARACHCHY N. S., GRIFFIN V. K., and GNANASAMBANDAM R. (1996).** Preparation and functional proprieties of proteins isolate from defatted wheat germ. Cereal Chemistry, vol: 73.N°3, pp 259-262.
- **HOSENEY R.C (1986).** Principal of cereal science and technology.USA.

I

- **IBANOGLU E. (2002).** Kinetic study on color changes in wheat germ due to heat. Journal of Food Engineering (51). pp 209-213.
- **INBP. (2005).** (Institut National de la Boulangerie Pâtisserie) .Mieux connaitre la farine. Supplément technique n ° 85 aux Nouvelles de la Boulangerie Pâtisserie pp 3-9.

J

- **JORA : 035 du 27-05-1998.** Arrêté interministériel du 25 Ramadhan 1418 correspondant au 24 janvier 1998 modifiant et complétant l'arrêté du 14 Safar 1415 correspondant au 23 juillet 1994 relatif aux spécifications microbiologiques de certaines denrées alimentaires, 18p.
- **JOFFIN C, JEAN C, JOFFIN N. (2000).** Microbiologie alimentaire. 5^{eme} édition. France.

K

- **KARWOWSKA K. and KOSTRAZEWA E. (1988).** A new technology for productionof valuable vitamin extract from wheat and rye germ. Die Nah-rung, vol: 32, N°5, pp491-495.
- **KIGER .J.L et KIGER .J.G. (1967).** Techniques modernes de la biscuiterie pâtisserie boulangerie industrielles et artisanales et des produits de régime. DUNOD –Paris. pp.44 - 52.
- **KIGER J.L et KIGER J.G. (1968)** Technique Modernes de la biscuiterie. DUNO, Paris, pp. 25- 33
- **KITTISSOU P., 1995.**Un nouveau paramètre alvéographique : l'indice d'élasticité (IC). Industrie des céréales. pp 9-17.

L

- **LASSOUED-OUALDI N. (2005)**. Structure alvéolaire des produits céréaliers de cuisson en lien avec les propriétés rhéologiques et thermiques de la pâte : Effet de la composition. Thèse de doctorat (E.N.S.I.A.A). 144p
- **Lecoq R, (1965)**. Manuel d'analyse alimentaire et d'expertises usuelles. Tome I. Ed. DOIN, DEREN et CIE, pp. 241-251.
- **LEBET V, (2004)**. Utilisation industrielle du germe de blé. Importance de la stabilisation. Industrie des céréales N°137. avril/mai. pp 14-16.
- **LENAOUR A, LEQUENTREC.B. ROELOFS. C. LAKHDARI.W. (1998)**. La filière pain. pp 25-26.
- **LUPANO C.E. et ANON M.C. (1986)**. Denaturation of wheat germ protein during drying . cereal chemistry . vol 63 N°3. Pp 259-262.

M

- **MACRITCHIE F., DUCROS D. L., and WRIGLEY C. W. (1990)**. Flour polypeptides related to wheat quality. Adv. Cereal Sci. Technol. pp78-79.
- **MASY LATTARD I. (1989)**. Le pain : aspect biochimiques et nutritionnels. Thèse en pharmacie , LILLE, p123.
- **MICARD. V, ABECASSIS. J, HEMERY. Y, LULLIEN- PRLLERIN. V, PETITOT. M, (2009)**. Produits Céréaliers :*Influence des procédés sur leurs propriétés nutritionnelles*. UMR IATE (MTP SupAgro-INRA-UMII-CIRAD)
- **MACRITCHIE, F.et GRAS, P.W. (1973)**. The role of flour lipids in baking. Cereal Chemistry, 50, pp292-302.
- **MOHTEDJI-LAMBALAIS, 1989** ; Les aliments. Editions Maloine. Paris. 203 p.
- **MOULINIER A. et BRETTE C, (1995)**. Contrôle de la qualité des céréales et des produits protéagineux. Ed. ONIC, Paris, 249P.

N

- **NESSAH N. (1998)**. Extraction et caractérisation du germe de blé: Application en diététique. Thèse d'ingénieur. Blida ,101P.
- **NURET H. (1989)**. Extraction de germe de blé. Ind des céréales. N°59. Mai/juin. pp7-12.
- **NURET H. (1991)**. La mouture de blé tendre. In : les industries de premières transformations des céréales. **GODON B., WILLM C.,** Ed Lavoisier Paris, Tec& Doc, pp 333-361.

O

- **OSBORNE T.B.**, 1907. The proteins of the wheat kernel. Carnegie Institute, Washington DC Publication 84, 1-119.

R

- **RENARD C., THERY S. (1998)**. Détermination des méthodes physico-chimiques pour prédire la qualité biscuitière et boulangère des blés français, Ind.des céréales, N°109. pp 31-36.
- **ROUAU, X., EL-HAYEK, M-L. and MOREAU, D.**1994. Effect of an enzyme preparation containing pentosanases on the bread-making quality of flours in relation to changes in pentosan properties. *Journal of Cereal Science*, 19, 157-259.

S

- **SHEWRY, P.R., TATHAM, A.S., FORD, J., KREIS, M. and MIFLIN, B.J. (1986)**. The classification and Nomenclature of wheat gluten proteins : a reassessment. *Journal of Cereal Science*.
- **SOUZA E., KRUK M., and SUNDERMAN D.W. (1994)**. Association of sugar-snap cookie quality with high molecular weight glutenin alleles in soft white spring wheats. *Cereal Chemistry*, (71). pp 601-605
- **SRIVASTAVA A. K., SUDHA M.L., BASKARAN V., and LEELAVATHI K. (2007)**. Studies on heat stabilized wheat germ and its influence on rheological characteristics of dough. *Eur Food Res Technol* (224). pp 365-372.
- **SUDHA M.L., VETRIMANI R., and LEELAVATHI K. (2007)**. Influence of fibre from different cereals on the rheological characteristics of wheat flour dough and on biscuit quality. *Food chemistry*, 100. pp 1365-1370.
- **Susanna, S; Prabhasankar, P. 2013**. A study on development of Gluten free pasta and its biochemical and immunological validation. *LWT - Food Science and Technology*, pp : 613-621. www.elsevier.com/locate/lwt.

T

- **TAYLOR. (1980)**. the chemical properties of wheat germ oils. *Journal Sci. food. agric.* Vol: 31, pp 997-1006.
- **THARRAULT J.F. (1994)**. Actualisation d'un test de cuisson biscuitier. *Ind. des céréales* N°87. Aout /sept. pp 36-40.

V

- **VIERLING E, (2003).** Aliments et boisson "filère et produit". Doin éditeurs, centre régional de documentation pédagogique. (2^{ème} édition).

Z

- **ZHU K and ZHOU H. (2005).** Purification and characterization of a novel glycoprotein from wheat germ water-soluble extracts. *Process Biochemistry* (40). pp 1469-1474.

Annexe I :

Tableau 01 : Les caractéristiques physico-chimiques déterminées sur le germe de blé tendre

Paramètres	La teneur (%)
Humidité	11.62 ± 0.03
cendres	3.3 ± 0.04
Protéines totales	25.93 ± 0.31
Lipides totaux	9.65 ± 0.28
Glucides totaux	49.08 ± 0.72

Tableau 02 : caractéristiques physicochimiques déterminés sur les farines

caractéristiques farine	Teneur en eau ^(*)	pH ^(*)	Taux de cendres ^(*)	Acidité grasse	protéines ^(*)
FB	14.53±0.05	6.17±0.02	0.68±0.02	0.04	10.5±0.03
FG	6.40±0.03	6.38±0.04	2.88±0.04	0.2	23.75±0.05
FG 5%	13.82±0.04	6.22±0.00	0.75±0.02	0.06	11.28±0.07
FG 10%	13.30±0.03	6.23±0.02	0.83±0.02	0.1	11.75±0.05
FG 15%	12.67±0.06	6.28±0.04	0.96±0.01	0.13	12.17±0.01
FG 20%	12.28±0.04	6.31±0.02	1.11±0.02	0.15	12.85±0.05

^(*) : Moyenne de deux essais

Tableau 03 : Taux d'affleurement des farines.

Diamètre (μm)	Taux d'affleurement %					
	F B	FG	FG 5%	FG 10%	FG 15%	FG 20%
200	4.61	12,13	4.88	5.98	6.38	6.43
180	9.80	28,75	13.94	16.28	13.55	15.87
150	26.64	38.37	25.68	21.89	29.03	29.41
130	50.35	11.18	46.78	49.37	41.86	37.23
Extra fin	8.45	5.45	8.31	7.25	8.17	8.01

Tableau 04 : taux de gluten des différents types des farines

	FB	FG	FG 5%	FG 10%	FG 15%	FG 20%
Gluten humide	26.6	-	25.4	24.89	23.13	22.62
Gluten sec	9.48	-	8.97	8.53	8.12	7.74
Capacité d'hydratation	64.36	-	64.68	65.72	64.89	65.57

Tableau 05 : Résultats de l'Alvéogramme des différents types de farine.

Paramètres farines	P (mm)	L (mm)	G	W (10^{-4} J)	P/L
FB	56	79	19.8	118	0.71
FG	126	14	8.3	78	9
FG 5%	50	56	16.7	73	0.89
FG 10%	45	38	13.7	50	1.18
FG 15%	44	34	13	48	1.29
FG 20%	42	32	12.6	51	1.47

Annexe III

COMPOSITION DES MILIEUX DE CULTURE UTILISÉS**(INSTITUT DE PASTEUR, 2003)****BOUILLON TRYPTONE SEL EAU (TSE)**

Tryptone	1g
Chlorure de sodium	8g
Eau distillée	1000ml
pH	7,2

GÉLOSE GLUCOSE A L'OXYTETRACYCINE (OGA)

Extrait de levure.....	5g
Glucose.....	20g
Gélose.....	16g
Eau distillée.....	1000 ml
pH	6

VIANDE FOIE (VF)

Base viande foie	30g
D glucose.....	2g
Amidon.....	2g
Agar	20g
Eau distillée	1000ml
pH.....	7,6

PLAT COUNT AGAR (PCA)

Peptone de caséine	5g
Extrait de levure	2,5g
Glucose	1g
Agar	18g
Eau distillée	1000ml
pH	7

GIOLITTI ET CANTONI

Tryptone.....	10,0g
Extrait de levure	5,0g
Extrait de viande	5,0 g
Glycine	1,2 g
Chlorure de sodium	5,0 g
Chlorure de lithium	5,0 g
D (-) Mannitol	20,0 g
Pyruvate de sodium	3,0 g
pH	6,9

Annexe IV

Matériels utilisés et photos

Matériels utilisés :

- Agitateur
- Appareil de Soxhlet
- Balance analytique précise
- Burette
- Capsule en porcelaine
- Centrifugeuse
- Dessiccateur
- Distillateur
- Etuve
- Etuve isotherme
- Four a moufle
- Minéralisateur
- Nacelle a incinération
- Papier filtre
- pH-mètre
- Pince métallique
- Pipette, spatule, mortier, bécher
- Tamis.

Appareils et verreries pour les analyses microbiologiques :

- Bain marie
- Bec benzen
- Boites de pétri
- Etuve réglable à 25°C
- Etuve réglable à 37°C
- Pipettes de 1 ml à usage bactériologique.
- Tubes à essai

Réactifs utilisés :

- Acide borique. ;
- Acide sulfurique ;
- Eau distillée ;
- Eau salée (2.5% de NaCL).
- Ethanol a 95% ;
- Hexane ;
- Phénolphtaléine ;
- Solution de NaOH (N/20)

- Photos des appareils



Balance à précision



Etuve isotherme



Étuve



Four d'incinération a moufle



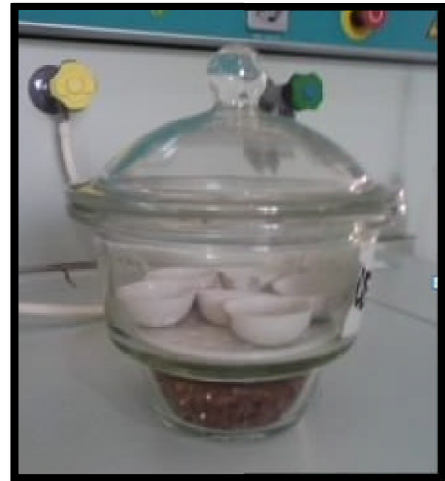
pH mètre



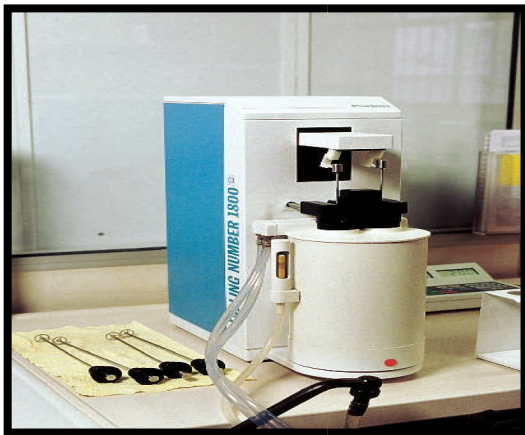
Centrifugeuse



Agitateur



Dessiccateur



Appareil de Hagberg



Tamisier



Alvéographe CHOPIN



Distillateur



Minéralisateur



Infra tec



Bain marie



Etuve à 25°C



Etuve à 37°C

Annexe V :

Fiche de dégustation

NOM :
PRENOM:
SEX:
AGE:

Vous avez devant vous cinq échantillons de biscuit différents, veuillez les classer en ordre croissant ces échantillons pour chaque caractères on donne la note de 1 à 4. L'attribution des notes s'effectue en respectant la notation suivante.

- La note 1 pour la catégorie médiocre.
- La note 2 pour la catégorie acceptable.
- La note 3 pour la catégorie bonne
- La note 4 pour la catégorie très bonne.

	Etat de surface	La couleur	La dureté	Le gout	L'odeur
Biscuit A					
Biscuit B					
Biscuit C					
Biscuit D					
Biscuit E					

Table de MAC-GRADY

Nombre caractéristique	Nombre de micro-organismes
000	0,0
001	0,3
010	0,3
011	0,6
020	0,6
100	0,4
101	0,7
102	1,1
110	0,7
111	1,1
120	1,1
121	1,5
130	1,6
200	0,9
201	1,4
202	2,0
210	1,5
211	2,0
212	3,0
220	2,0
221	3,0
222	3,5
223	4,0
230	3,0
231	3,5
232	4,0
300	2,5
301	4,0
302	6,5
310	4,5
311	7,5
312	11,5
313	16,5
320	9,5
321	15,0
322	20,0
323	30,0
330	25,0
331	45,0
332	110,0
333	140,0