

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE  
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE  
UNIVERSITE MOULOU D MAMMERI DE TIZI OUZOU  
FACULTE DES SCIENCES BIOLOGIQUES ET DES SCIENCES AGRONOMIQUES



Département de Biochimie-Microbiologie

# Mémoire de fin d'études

Présenté par

**HEDDAM Amina et KACI AISSA Nabila**

En vue de l'obtention du diplôme de Master en Sciences Alimentaire

Spécialité : Biochimie de la nutrition

**Thème**

**Processus de fabrication, évaluation de la qualité  
technologique des farines de blé tendre et essai  
d'élaboration d'un pain diététique au son**

**Soutenu devant le jury composé de :**

<b>Président : Mme BEDOUHENE-FENANE Samia</b>	<b>MCB</b>	<b>Université de Tizi-Ouzou</b>
<b>Promoteur : Mr SEBBANE Hillal</b>	<b>MCB</b>	<b>Université de Tizi-Ouzou</b>
<b>Examineur : Mme ALMI Dalila</b>	<b>MCB</b>	<b>Université de Tizi-Ouzou</b>

Année Universitaire : 2020/2021



## *Remerciement*

Tout d'abord, nous remercions Dieu le tout puissant de nous avoir donné courage, santé et Patience pour accomplir ce travail.

Nos remerciements les plus sincères vont particulièrement à notre promoteur monsieur SEBBANE HILLAL de nous avoir fait l'honneur de diriger ce travail, son aide scientifique inestimable, sa disponibilité, ainsi que ses qualités humaines nous ont profondément marquées. On espère que ce travail témoignera sur notre grande estime et de notre profonde reconnaissance.

Nos vifs remerciements également pour Mme MEFTAH la chef de service laboratoire de l'unité E.R.I.A.D de Tadmait et Mme AMMOUCHE Nouara pour leurs aides, gentillesse, conseils et de nous avoir guidé pas à pas tout au long de notre travail.

Nous remercions vivement les membres du jury pour le temps qu'ils ont accordé à la lecture de ce modeste travail.

Nous tenons à exprimer notre respectueuse gratitude à Mr HEDDAM Youcef inspecteur dans la protection des végétaux qui nous a ouvert les portes au milieu professionnel.

Nous ne manquerons pas de remercier tous les enseignants du département science biologique et Agronomie de l'UMMTO de nous avoir partagé leur savoir et leurs expériences.

Nos remerciements vont aussi à nos familles, une source abondante de courage et de persévérance on ne pourra pas vous remercier assez pour vos encouragements durant nos cursus scolaires et universitaires, merci infiniment à vous. Nos amis pour leurs soutiens et leurs constantes présences dans les moments de doute.

Enfin, nous tenons à remercier toutes les personnes qui ont contribué de près ou de loin dans l'élaboration de ce modeste travail.



# *Dédicace*

*Arrivé au terme de mes études par la grâce de dieu,  
Je dédie ce modeste travail  
A la mémoire de mon père, celui qui m'a comblé d'affection, d'amour et de  
tendresse et qui a toujours été là pour moi.  
A toi maman rien au monde ne vaut les efforts fournis jours et nuits pour  
mon avenir et mon bien être Qu'ALLAH le tout puissant te préserve,  
t'accorde santé  
Tous mes sentiments de reconnaissance pour vous  
Mes chers frères Bilou Djaffar et Mounir  
Mes belles-sœurs Poupoula et Lylia  
Aux fleurs de la maison Yasmine, Racim et Bibichou  
Ma binôme Kaci Aissa Nabila  
Pour leur soutien moral et financier, pour leur amour et leur encouragement  
et les sacrifices qu'ils ont endurés, trouvent le témoignage de ma profonde  
affection et gratitude.  
A tous mes ami(e)s spécialement a ma meilleure amie Sara, merci pour les  
moments agréables et inoubliables que nous avons partagé.  
A tous mes enseignants durant tous mon cursus,  
A toute la promo de Biochimie de la Nutrition 2020/2021*

*Amina*





## *Dédicace*

*Je dédie ce travail*

*A mes chers parents. Aucun hommage ne pourrait être à la hauteur de  
l'amour dont ils ne cessent de me combler. Que dieu leur procure bonne santé  
et longue vie*

*A la mémoire de ma chère grand-mère Yamina que dieu lui garde son vaste  
paradis*

*A mon grand frère Yazid*

*et mes deux petites sœurs Mounia et Maroua*

*A ma chère binôme Heddam Amina pour sa patience et sa compréhension  
tout au long de ce projet, je te dis merci et je te souhaite bonheur, réussite et  
prospérité ainsi qu'à toute ta famille*

*A mes amies Sabrina, Warda, Lina, Leaticia, En témoignage de l'amitié qui  
nous unit et de souvenirs de tous les moments que nous avons passés ensemble  
je vous dédie ce travail et je vous souhaite une vie pleine de bonheur*

*A tous les membres de ma famille et à toute les personnes qui occupent une  
place dans ma vie*

*Nabila*



## Sommaire

Liste des abréviations

Liste des figures

Liste des tableaux

Introduction ..... 1

### I - Partie Bibliographique

#### Chapitre I : Généralités sur le blé tendre

I.1. Généralités sur les céréales .....	3
I.1.1. Consommation et importance du blé en Algérie .....	3
I.1.2. Origine et historique du blé .....	4
I.1.3. Les types de grains de blé.....	4
I.1.4. Classification botanique du blé tendre .....	5
I.2. Composition biochimique et histologique de grain de blé .....	6
1.2.1. Composition histologique.....	6
1.2.2. Composition biochimique.....	7
I.3. Caractéristiques du grain de blé tendre .....	9
I.4. Critères d'appréciation de la qualité de blé .....	10
I.4.1. Agréage .....	10
I.4.2. Poids spécifique (PS) .....	10
I.4.3. Poids de mille grains .....	10

#### Chapitre II : Son de blé

II.1. Son de blé .....	11
II.1.1. Composition de son du blé.....	12
II.1.2. Utilisation du son de blé .....	13
II.1.3. Effet du son de blé .....	13
II.2. Syndrome de l'intestin irritable (Colopathie).....	14
II.2.1. Définition .....	14
II.2.2. Symptômes .....	14
II.2.3. Causes .....	15
II.2.4. Les fibres et leurs impacts sur la colopathie .....	15

#### Chapitre III : Processus de transformation

III.1. Objectif de la mouture .....	16
III.2. Principe de mouture.....	16
III.2.1. Préparation des grains de blé .....	16

III.2.2. Les appareils de mouture .....	19
III.2.3. Les principales opérations de la mouture .....	20
III.2.4. Nature des produits de mouture .....	21
III.2.5. Stockage des produits finis .....	22

### **Chapitre IV : la farine de blé tendre**

IV.1. Définition et composition d'une farine de panification .....	24
IV.2. Composition biochimique de la farine de blé tendre .....	25
IV.3. Propriétés physiques ; physico-chimiques et technologiques de la farine.....	31
IV.3.1. Les propriétés physiques (organoleptiques) .....	31
IV.3.2. Propriétés physico-chimiques .....	32
IV.4. Propriétés technologiques .....	32
IV.4.1. Notion de valeur meunière .....	33
IV.4.2. Notion de valeur boulangère .....	33
IV.4.3. Notion de valeur technologique .....	34
IV.5. Différents types de farine.....	35

### **Chapitre V : La panification**

V.1. Définition de la panification.....	37
V.2. Définition de la pâte .....	37
V.3. Les ingrédients utilisés avec la farine en panification .....	37
V.4. Définition du pain .....	40
V.4.1. La valeur nutritionnelle du pain .....	41
V.5. Les opérations de panification.....	41
V.6. Les altérations du pain .....	45

## **II - Partie expérimentale**

### **Présentation de l'organisme d'accueil**

I.1. Présentation du groupe AGRODIV.....	46
II.2. Présentation détaillé du CIC TADMAIT .....	46
II.2.1. Définition.....	46
II.2.2. Historique des réalisations.....	47
II.2.3. Situation géographiques et localisation de l'entreprise.....	47
II.2.4. Identification de l'entreprise.....	49

### **Méthodes et matériels**

I. Objectif de cette étude.....	50
II. Echantillonnage .....	50

III.L'agrégé de blé .....	51
III.1. Poids spécifique .....	52
III.2. Humidité.....	52
III.3. Poids de mille grains.....	53
III.4. Les impuretés.....	53
IV. Analyses physico-chimiques effectuées sur la farine de blé.....	54
IV.1. Détermination de l'humidité .....	54
IV.2. Détermination du taux d'affleurement.....	55
IV.3. Le taux de cendre.....	55
V. Analyses technologiques.....	56
V.1. L'indice de chute .....	56
V.2. Teneur en gluten .....	57
V.3. Détermination de la force boulangère.....	59
V.4. L'essai de panification .....	61
VI. Analyse sensorielle.....	62

### **Résultats et discussions**

I. Résultats de l'agrégé de blé .....	64
II. Résultats des analyses physico-chimiques des farines.....	66
III. Résultats des analyses technologiques.....	67
<b>Conclusion</b> .....	79

### **Références bibliographiques**

### **Références Webiographiques**

### **Annexes**

### **Résumé**

## Liste des tableaux

<b>Tableau I</b> : Valeur nutritionnelle des farines pour 100g de matière .....	3
<b>Tableau II</b> : Apports nutritifs des principaux produits dérivés des céréales .....	3
<b>Tableau III</b> : Tableau représentatif des caractéristiques de grain de blé tendre.....	9
<b>Tableau IV</b> : Pourcentage des monosaccharides dans le son de blé .....	11
<b>Tableau V</b> : Composition en fibres des farines et des sons.....	12
<b>Tableau VI</b> : Teneur en minéraux et en vitamines du son de blé .....	12
<b>Tableau VII</b> : La farine de type 55 est composée de plusieurs éléments .....	25
<b>Tableau VIII</b> : Les différents milieux de solubilité des protéines de la farine .....	28
<b>Tableau IX</b> : Tableau représentatif des propriétés physique (organoleptique) de la farine de blé tendre .....	31
<b>Tableau X</b> : Caractéristiques physico-chimiques de la farine de blé tendre .....	32
<b>Tableau XI</b> : Valeurs indicative de W pour différentes fabrications .....	35
<b>Tableau XII</b> : Types de la farine de blé .....	36
<b>Tableau XIII</b> : Composition chimique du sel .....	38
<b>Tableau XIV</b> : Quelques régulateurs technologiques en panification .....	40
<b>Tableau XV</b> : Tableau représentatif des informations générales sur l'entreprise .....	49
<b>Tableau XVI</b> : Classification du blé tendre .....	51
<b>Tableau XVII</b> : Vocabulaire ou descripteurs sensoriels pour le pain .....	53
<b>Tableau XVIII</b> : Les résultats d'agrégation de blé obtenus.....	64
<b>Tableau XIX</b> : Résultats des analyses physico-chimiques des farines à différents taux .....	66
<b>Tableau XX</b> : Bulletin des analyses technologiques des différentes farines .....	68
<b>Tableau XXI</b> : Résultats du test de l'alvéographe de CHOPIN .....	70
<b>Tableau XXII</b> : Quantité d'eau ajoutée durant le pétrissage pour 1kg des différentes farines .....	71
<b>Tableau XXIII</b> : Résultats de l'appréciation des pâtes.....	72
<b>Tableau XXIV</b> : Résultats de l'appréciation des pains .....	73
<b>Tableau XXV</b> : Valeurs des pesées des pains .....	76

## Liste des Figures

<b>Figure 01</b> : Blé tendre .....	4
<b>Figure 02</b> : Blé dur .....	4
<b>Figure 03</b> : Schéma représentatif de la phylogénie du blé .....	5
<b>Figure 04</b> : Structure du grain de blé.....	6
<b>Figure 05</b> : Composition biochimique d'un grain de blé .....	7
<b>Figure 06</b> : Illustration du fonctionnement d'un moulin .....	18
<b>Figure 07</b> : Diagramme de mouture de blé tendre .....	23
<b>Figure 08</b> : Farine de blé tendre .....	24
<b>Figure 09</b> : Structure de l'amylose et l'amylopectine .....	26
<b>Figure 10</b> : Composition des protéines de la farine de blé .....	28
<b>Figure 11</b> : Schéma représentant les protéines de réserves ainsi que le complexe protéique viscoélastique.....	29
<b>Figure 12</b> : Schéma représentant la formation du réseau du gluten durant le pétrissage .....	42
<b>Figure 13</b> : L'action de la chaleur sur la pâte lors de la cuisson.....	44
<b>Figure 14</b> : Schéma représentant des quatre complexes industriels et commerciaux dénommés CIC .....	46
<b>Figure 15</b> : Logo de l'entreprise .....	47
<b>Figure 16</b> : Photo de complexe industriel et commercial de Tadmaït .....	47
<b>Figure 17</b> : localisation de la commune Tadmaït dans la wilaya de Tizi-Ouzou .....	48
<b>Figure 18</b> : Localisation de complexe industriel et commercial de Tadmaït .....	48
<b>Figure 19</b> : Courbe alvéographique avec indication des différents paramètres mesurés .....	60
<b>Figure 26</b> : Aspect de la mie et du pain fait à partir de la farine de panification .....	73
<b>Figure 27</b> : Aspect de la mie et du pain fait à partir de la farine issue du mélange à 5% .....	74
<b>Figure 28</b> : Aspect de la mie et du pain fait à partir de la farine issue du mélange à 10% .....	74
<b>Figure 29</b> : Aspect de la mie et du pain fait à partir de la farine issue du mélange à 15% .....	75
<b>Figure 29</b> : Aspect de la mie et du pain fait à partir de la farine issue du mélange à 20% .....	75

## Liste des abréviations

**AFNOR** : Association Française de Normalisation

**E.R.I.A.D** : entreprise régionale des industries alimentaires et dérivés

**ISO**: International Organization for Standardization

**FAO**: Food and Agriculture Organization.

**AACC**: American Association of Cereal Chemists.

**NA** : Norme Algérienne.

**NF** : Norme Française.

**MS** : Matière Sèche.

**SII** : Syndrome d'Intestin Irritable.

**SCI** : Syndrome du Côlon Irritable.

**PMG** : Poids de Mille Grains.

**PS** : Poids Spécifique.

**TH** : Taux d'Humidité.

**G** : Gonflement.

**W** : Force boulangère.

**P** : Ténacité de la pâte.

**P/L** : Rapport de plasticité /élasticité.

**AGI** : Acide Gras Insaturé.

**CCLS** : Coopérative des Céréales et Légumes Secs.

**g** : Gramme.

**hl** : Hectolitre.

**JO** : Journal Officiel.

**Kg** : Kilogramme.

**m** : Mètre.

**mm**: Millimètre.

**GS**: Gluten Sec.

**GH**: Gluten Humide.

**µm** : Micromètre.

**%** : Pourcentage.

### Introduction

Le blé tendre est une céréale importante en termes de consommation humaine dans de nombreux pays du monde. Il sert principalement à la production de la farine utilisée en boulangerie, biscuiterie, pâtisserie.

La qualité technologique du blé tendre (*Triticum aestivum*) et son amélioration sont parmi les principales préoccupations des céréaliers, elle dépend essentiellement de ses protéines de réserve, dont principalement le groupe des prolamines qui englobent les gliadines et les gluténines. En effet, ces protéines sont déterminantes à la capacité du gluten à former un réseau viscoélastique, essentiel aux processus technologiques (SHEWRY, 1997).

Le son de blé est un sous-produit de la mouture sèche de blé. Il est composé de couches extérieures du grain de blé avec une partie de l'endosperme (couche d'aleurone et une petite quantité d'albumen amylicé). Il représente 10 à 17% de blé moulu en farine (HASSAN et al., 2008).

La production de son de blé est liée à celle du blé. En effet, un million de tonnes de blé peut produire jusqu'à 0,25 million de tonnes de son de blé. Ce dernier est une source de fibres et il est riche en protéines, en vitamines (B1, B2, B3, B6, B9 et E) et minéraux (P, K, Mg, Mn et Fe) (POMERANZ 1988 ; ANTOINE et al., 2002 ; KEVITH.M, 2004). Il contient aussi des antioxydants, des polyphénols et d'autres composés qui sont bénéfiques pour la santé humaine et prévenir de nombreuses maladies. Malgré ses excellentes propriétés nutritionnelles, le son de blé n'est utilisé que pour l'alimentation animale et très peu en nutrition humaine. Toutefois, il serait intéressant de l'utiliser comme additif alimentaire ou de l'incorporer dans certains aliments afin d'augmenter leur valeur nutritionnelle. En effet, de nos jours, le consommateur est de plus en plus soucieux de la qualité des aliments et de leurs attributs nutritionnels. L'enrichissement des aliments avec des nutriments pour améliorer leur qualité nutritionnelle est donc devenu une nécessité pour satisfaire les exigences du consommateur. C'est dans cette idée que plusieurs études ont été réalisées pour utiliser le son de blé comme source de nutriments et l'incorporer dans des farines utilisées pour la fabrication du pain et d'autres denrées alimentaires.

Le son de blé peut être utilisé pour l'enrichissement de certains aliments et il peut être incorporé dans les farines pour produire une farine de blé ayant une teneur en fibres comparable à la farine de blé entier. Cependant, son utilisation dans l'alimentation humaine reste limitée parce qu'il peut déprécier la qualité organoleptique et réduire ainsi les propriétés sensorielles des aliments (HUNG et al., 2007). Plusieurs études ont également démontré que l'utilisation du

son de blé dans la fabrication du pain détériore les propriétés rhéologiques de la pâte, diminue le volume du pain et augmente la fermeté de la mie (WANG *et al.*, 2002, HUNG *et al.*, 2007.)

Les fibres insolubles contenues dans le son ont un rôle principal dans la protection contre l'inflammation intestinale en favorisant la libération des acides gras à chaîne courte au niveau du côlon tel que la Colopathie qui contribueraient à la diversité du microbiome. La colopathie encore appelée trouble syndrome de l'intestin irritable (SII) est un trouble intestinal provoquant des douleurs chroniques.

Cette étude s'inscrit dans l'objectif d'évaluer la qualité technologique des farines de blé tendre commercialisées en Algérie plus exactement à Tizi-Ouzou, produite par la minoterie E.R.I.A.D Tadmait par l'analyse des caractères physicochimiques des matières premières (blé – farine) et produits finis, technologiques par l'utilisation de quelques tests de qualité afin d'élaborer un pain diététique au son (riche en fibres), celle-ci portera sur l'incorporation du son à la farine à différents taux capables de satisfaire les besoins des malades atteints de colopathie.

Le rôle principal des moulins du complexe industriel et commercial de TADMAIT consiste à transformer la matière première qui est le blé tendre en produit finis (farine) saine répondant aux normes de nutrition à l'échelle internationale et en qualité suffisante

Dans le cadre de cette étude, ce mémoire est composé de deux parties ; La première partie propose une mise au point bibliographique. Elle est divisée en cinq chapitres, La seconde partie, est une étude expérimentale d'analyses physico-chimiques et technologiques sur cinq échantillons de farine. Le manuscrit est achevé par un résumé et une conclusion.



# **Chapitre I**

## Généralités sur le blé tendre



## I.1. Généralités sur les céréales

### I.1.1. Consommation et importance du blé en Algérie

Les céréales et leurs dérivés constituent l'épine dorsale du système alimentaire algérien. Les céréales constituent la base du modèle de consommation alimentaire dans ce pays, comme dans la plupart des pays méditerranéens. 54% des apports énergétiques et 62% des apports protéiques journaliers provenaient de ces produits en 2003 et le blé représentait 88% des céréales consommées (KELLOU, 2008). L'Algérie se situe ainsi au premier rang mondial pour la consommation de blé avec plus de 200 kg en 2003, elle fait ainsi partie des principaux importateurs mondiaux et se trouve dépendante du marché international. Cette situation risque de se prolonger à plusieurs années, faute de rendements insuffisants et des besoins de consommation sans cesse croissants devant une forte évolution démographique (CHELLALI, 2007).

**Tableau I** : Valeur nutritionnelle des farines pour 100g de matière sèche (SURGET et BARRON, 2005).

Farines	Valeur nutritionnelle			
	Eau (%)	Protéines (%)	Lipides (%)	Glucides (%)
Type 150	14-15	10.0-11.5	1.5	68-73
Type 80	14-15	9.5-11.0	1.2-1.6	69-74
Type 55	14-15	9.0-10.5	1.0-1.2	70-75

**Tableau II** : Apports nutritifs des principaux produits dérivés des céréales (SELSELET, 1991).

Composition	Semoule	Farine	Pâtes alimentaires
Amidon	85 – 90 %	60 – 72 %	88 – 90 %
Matière minérale	0.90 %	0.52 - 0.65 %	0.9 - 1.1%
Protéines	10 – 11 %	9 – 11 %	11.5 - 12.5 %
Eau	14 – 15 %	14 – 15 %	11.5 - 12.5 %

### I.1.2 Origine et historique du blé

Le blé est l'une des principales ressources alimentaires de l'humanité. La saga du blé accompagne celle de l'homme et de l'agriculture, sa culture précède l'histoire et caractérise l'agriculture néolithique, née en Europe il y a 8000 ans. Le blé tendre est apparu entre 5000 et 6000 ans avant Jésus-Christ dans le croissant fertile puis s'est dispersé à partir de la Grèce en Europe (DOUSSINAULT et *al.*, 1992). C'est à partir de cette zone que les blés ont été diffusés vers l'Afrique, l'Asie et l'Europe. La route la plus ancienne de diffusion des céréales vers les pays du Maghreb fut à partir de la péninsule italienne et de la Sicile (BONJEAIN, 2001).

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

### I.1.3. Les types des grains de blé

Les deux espèces de blé les plus cultivées au monde sont le blé tendre (*Triticum aestivum*.) qui représente plus de 90% de la production mondiale (figure 01) et le blé dur (*Triticum durum*) qui constitue 5% de celle-ci et qui est traditionnellement cultivé dans le bassin méditerranéen (figure 02) (GODON, 2009).



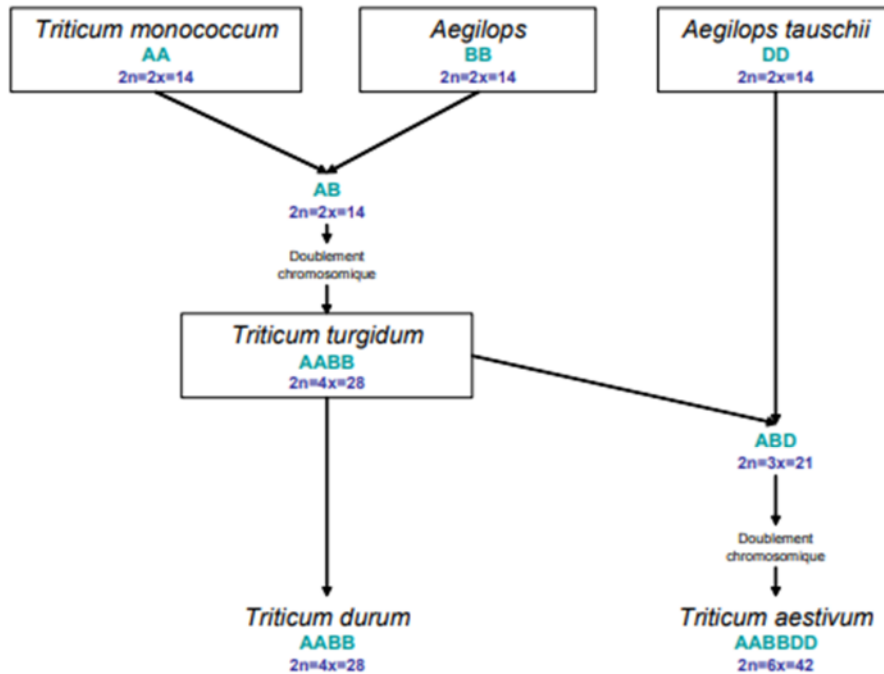
**Figure 01** : Blé tendre.



**Figure 02** : Blé dur.

D'un point de vue botanique, le blé est une monocotylédone appartenant à la famille des graminées, divisées génétiquement selon leur nombre de chromosomes ( $2n$ ). Le blé dur, utilisé pour la fabrication de pâtes alimentaires, présente un génome tétraploïde (génome AA BB).

Chaque génome est constitué de 7 paires de chromosomes homologues, soit un total de 28 chromosomes ( $2n = 28$ ). Le blé tendre, essentiellement utilisé pour la fabrication du pain, est hexaploïde (génome AA BB DD) avec un total de 42 chromosomes (**Figure 03**).



**Figure 03** : Schéma représentatif de la phylogénie du blé.

#### I.1.4. Classification botanique du blé tendre

- ❖ Règne : végétal Plantae
- ❖ Sous-règne : Tracheobionta
- ❖ L'embranchement : Magnoliophyta Classe : Liliopsysda
- ❖ Sous-classe : comelinidae
- ❖ Ordre : Cyperales
- ❖ Famille : Poaceae
- ❖ Sous-famille : pooideae
- ❖ Tribu : *Triticeae*
- ❖ Genre : *Triticum*
- ❖ Espèces : *Triticumaestivum* (Blé Tendre) (Bonneuil et al, 2009).

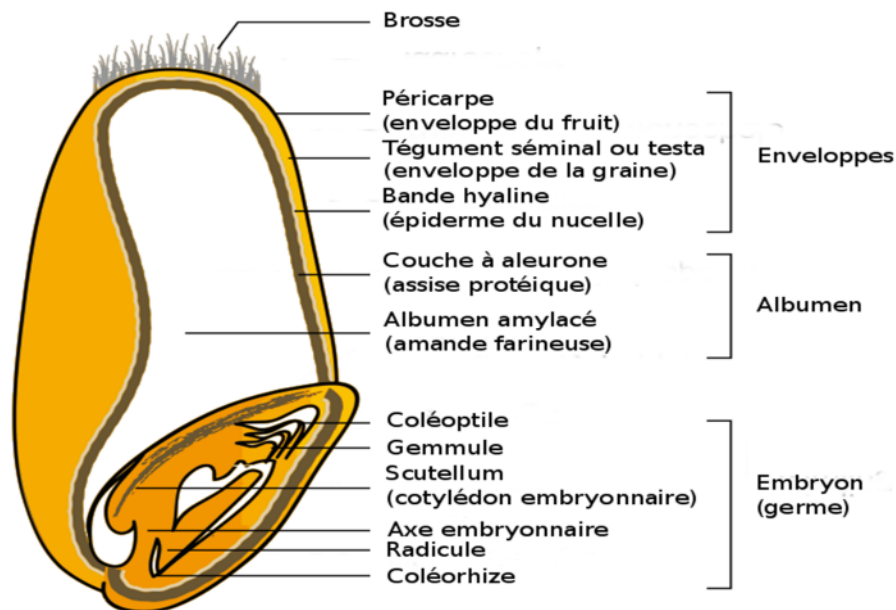
## I.2. Composition biochimique et histologique de grain de blé

### 1.2.1. Composition histologique

Le grain de blé est de forme ovoïde plus ou moins allongée, son examen révèle :

- Une face dorsale plus ou moins bombée ;
- Une face ventrale, comportant un sillon profond ;
- À sa partie supérieure, de courts poils forment la brosse;
- À sa partie inférieure, le germe est visible sur la face dorsale.

La couleur des blés varie du roux au blanc, en rapport avec le pays d'origine, le sol, la culture, et le climat (LESLIE.J, 2012). (Figure 04).



**Figure 04** : Structure du grain de blé (SURGET et BARRON, 2005).

### I.2.1.1. Les enveloppes

Elles sont riches en matière minérale, matière protéique et matière grasse ainsi que les vitamines ; elles représentent 14 à 15 % du poids total du grain. Elles sont constituées par des couches superposées, en allant de la périphérie vers le centre du grain (le péricarpe, le tégument séminal, la bande hyaline et l'assise protéique ou couche à aleurone) ont comme rôle de protéger la graine de détérioration extérieures (CALVEL, 1984).

- Le péricarpe : Il représente 4% poids du grain, il est composé de trois couches, l'épicarpe, le mésocarpe et l'endocarpe.
- Le tégument séminal : Il représente 1% du poids total du grain, plus riche en matière protéique et minérales.

- L'assise protéique : Elle est formée de grosses cellules prismatiques à parois cellulosiques épaisses contenant une forte teneur en protéines ; matières grasses et matières minérales.

### 1.2.1.2 Albumen (amande farineuse)

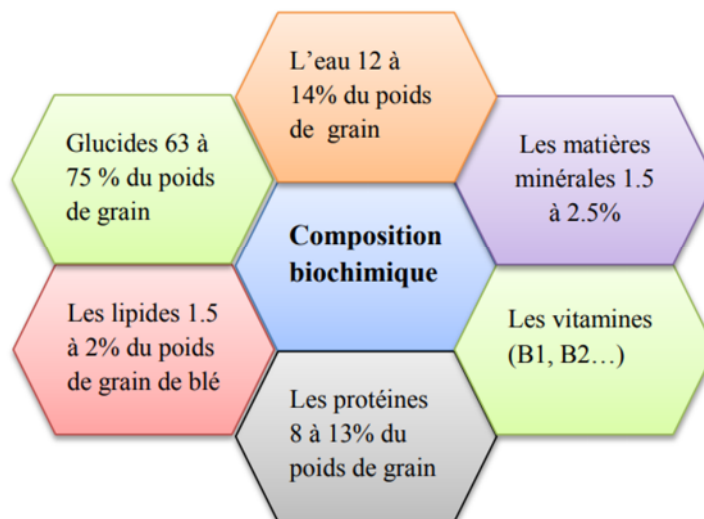
L'albumen représente la majeure partie du grain, forme en moyenne 77 à 85% de la masse totale du grain. C'est une masse blanche friable constituée principalement d'amidon, un sucre absorbé lentement par l'organisme, enchâssée dans un réseau protéique « gluten » (FEILLET, 2000).

### 1.2.1.3. Le germe

Le germe correspond à l'embryon de la plante, qui représente 3% du grain. Il est peu volumineux et d'une couleur jaunâtre, mais c'est la partie la plus riche en éléments nutritifs (haute teneur en sels minéraux, vitamines, protéines). Il assure la régénération de l'espèce (FEILLET, 2000).

## 1.2.2. Composition biochimique

Les constitutions de grain de blés essentiels sont les suivants (Figure 05) :



**Figure 05** : Composition biochimique d'un grain de blé (FEILLET, 2000).

### 1.2.2.1. L'eau

Le grain de blé est naturellement un peu hydraté, sa teneur en eau varie avec le taux d'humidité de l'air. L'équilibre se situe entre 12 et 15 %. Du point de vue chimique et physique, son action solvant favorise les réactions enzymatiques et les attaques microbiennes lorsque sa teneur dans le grain dépasse un certain seuil (FEILLET, 2000).

#### **1.2.2.2. Les glucides**

Les glucides sont les composants les plus importants du grain de blé représentant 80% de la matière sèche (poids de grain). Il se compose généralement de l'amidon et pentosanes (BOUGHRARA, 2000). Leur principale fonction est de fournir l'énergie (GODON et WILLM, 1991).

#### **1.2.2.3. Les protéines**

Les protéines se trouvent à une teneur assez élevée (30%) dans la zone comprise entre le tégument séminal et l'assise protéique (GODON ET WILLM, 1991). Les protéines des céréales sont en particulier déficitaires en un acide aminé essentiel (la lysine) ; la teneur du blé en protéines totales est faible et elle se rapproche d'une valeur moyenne de 12% (FAO, 1970).

#### **1.2.2.4. Les lipides**

Ils sont principalement localisés dans le germe (15%) et les enveloppes de grain (12%) (CALVEL, 1984).

#### **1.2.2.5. Les matières minérales**

La teneur en minéraux de grain de blé est d'environ 1 à 3% MS (FAO, 1990). La richesse du grain de blé en matières minérales se différencie selon la nature de la terre, les fumures et même les conditions climatiques, la récolte et l'année. Toutefois le grain de blé est riche en phosphate, potassium, magnésium et en oligo-éléments (fer, manganèse, zinc) et pauvre en calcium, chlore et sodium (COLAS, 1997).

#### **1.2.2.6. Les vitamines**

Les grains de blé contiennent les vitamines suivantes : la vitamine B1, B2, et B3 ainsi que la vitamine E qui se trouve surtout dans le germe (GODON et WILLM, 1991).

#### **1.2.2.7. Les enzymes**

Les enzymes sont par ordre d'importance : les amylases, les maltases, les protéases et les lipases.

- Les amylases ou diastases : elles sont composées de l' $\alpha$  et  $\beta$  amylase qui lors de la transformation l'amidon en dextrine, en maltose puis en glucose (GODON, 1991).

- Les protéases : elles attaquent les protéines de gluten.
- Les lipases : elles hydrolysent les lipides de germe en libérant des acides gras qui vont augmenter le pH de la farine (DACOSTA, 1986).

### I.3. Caractéristiques du grain de blé tendre

Les caractéristiques les plus importantes pour la meunerie sont dans le tableau suivant :

**Tableau III** : Tableau représentatif des caractéristiques de grain de blé tendre (PAUL, 2007).

Caractéristiques	Description
<b>La force</b>	-Les blés atteignent les cours les plus élevés et sont les plus réputés par ce qu'ils donnent des grains volumineux de bonne texture, et qui possèdent le plus haut point pouvoir d'absorption d'eau. Le meunier peut mélanger des blés de force à grande proportion de variétés plus faibles, pour avoir une farine de force moyenne.
<b>La saveur</b>	Ce n'est pas un facteur négligeable de la qualité. La saveur peut être modifiée par la présence de l'eau en teneurs élevée.
<b>L'odeur</b>	-L'odeur spécifique du blé, c'est l'odeur de blé fraîchement récolté. Les cultures à l'odeur faible sont à peine perceptibles. Les cultures à parfum possèdent une odeur forte spécifique. -La teneur élevée en eau et le mauvais conditionnement peut produire une odeur suspecte souvent désagréable
<b>Rendement en farine</b>	-L'humidité : Les meuniers préfèrent les blés secs pour des raisons : Faciliter de stockage Ils ont un meilleur rendement en farine -Forme du grain : Plus il est rond, plus la préparation d'amande est grande par rapport au son et plus la possibilité de rendement en farine est élevé. -Dimensions des grains : Les grains de différentes dimensions de même épaisseur des enveloppes possèdent la portion d'amande la plus élevée par rapport au son. Adhérence de l'enveloppe à l'amande : Plus on pourra l'on détacher aisément au cours de la mouture, plus l'extraction de la farine sera élevée -Pourcentage d'impuretés : Les meilleurs blés contiennent 0.5 à 2% d'impuretés

### I.4. Critères d'appréciation de la qualité de blé

#### I.4.1. Agréage

L'agréage est une opération technique servant à la détermination de la qualité physique des céréales, appliquée au niveau des coopératives céréalières par des agréateurs confirmés qui peuvent ainsi accepter ou refuser les lots de blé examinés. Ils effectuent pour cela des analyses rigoureuses, qui portent notamment sur le dosage d'eau, la masse à l'hectolitre du blé (poids spécifique), le poids de mille grains et la recherche des impuretés (AZIEZ *et al*, 2003).

#### **I.4.2. Poids spécifique (PS)**

La masse volumique dite masse à l'hectolitre, appelée aussi poids spécifique (PS) ou poids à l'hectolitre (PHL) a pour objet la mesure de la masse d'un certain volume de grains, impuretés et masse de l'air présents dans les espaces inter-granulaires. Plus le poids à l'hectolitre (PHL) est élevé, plus le rapport enveloppe sur amande est faible et le taux d'extraction est élevé (AZIEZ *et al*, 2003, SCOTTI et MONT, 1997).

#### **I.4.3. Poids de mille grains**

Le poids de mille grains (PMG) est un paramètre qui décrit la capacité d'accumulation des substances de réserves en conditions environnementales optimales. Le remplissage des grains se fait essentiellement par les assimilés récemment photosynthétisés. Les limitations qui apparaissent à ce niveau (remplissage du grain) sont liées beaucoup plus à la capacité des grains au stockage (puits), qu'aux capacités photosynthétiques (source). Cependant, les conditions climatiques peuvent influencer le PMG (GODON et WILLM 1998).



# Chapitre II

Son de blé



## II.1. Son de blé

Le son de blé est l'un des sous-produits de la mouture sèche du blé tendre. Il se compose de couches extérieures du grain du blé avec une partie de l'albumen (couche d'aleurone et petite quantité de l'albumen amylicée). Il représente 10 à 17% du blé moulu (HASSAN *et al.*, 2008).

### II.1.1. Composition de son du blé

Le son de blé est principalement formé par les enveloppes et la couche à aleurone riches en glucides, cellulose, hémicellulose protéines. La couche interne du son, l'aleurone, est enlevée lors de la mouture et elle retrouve dans le son (PEYRON *et al.*, 2003). Elle constitue 6 à 7 % du poids du grain et contient des cellules riches en protéines et renferme des concentrations importantes de molécules d'intérêt nutritionnel, soit 40 % de minéraux et 20 % de protéines du son (POMERANZ, 1988). Elle contient aussi d'autres composantes bioactives comme la lignine (phytoœstrogène) et les acides phénoliques (JAVED *et al.*, 2011).

Les enveloppes sont constituées de cellulose, hémicellulose (pentosane) et de lignine formées par un ensemble de monosaccharides dont la teneur est variable (Tableau 1). Il s'agit d'une source de fibres alimentaires insolubles et d'acides phénoliques (ROUAU *et al.*, 2010). Elles contiennent aussi des composés bioactifs comme la bêtaïne et la choline (JAVED *et al.*, 2011).

Les pentosanes sont des polysaccharides appartenant à deux familles : les arabinoxylyanes et les arabinogalactanes. La cellulose est un homopolysaccharide cristallin, principalement retrouvé dans le péricarpe, mais absent dans la couche à aleurone. Les chaînes de celluloses confèrent aux parois du grain une résistance chimique et physique.

**Tableau 1V** : Pourcentage des monosaccharides dans le son de blé (BENAMROUCHE *et al.*, 2002).

Monosaccharides	Pourcentage (%)
Xylose	43.7
Arabinose	23.7
Glucose	23.1
Galactose	2.1

### II.1.1.2. Composition physico-chimique du son de blé

Le son de blé est très riche en fibres par rapport à la farine blanche. En effet, la teneur en fibre augmente du centre du grain vers les parois comme le montre le Tableau V.

**Tableau V** : Composition en fibres des farines et des sons (FEILLET, 2000).

	Fibres totales %	Hémicelluloses	Cellulose	Lignine
<b>Farine blanche</b>	3-4	80	19	1.0
<b>Farine complète</b>	12-15	74	20	6.0
<b>Son fin</b>	28-32	75	16	9.0
<b>Gros son</b>	40-50	74	18	7.0

Les parties périphériques du grain de blé représentent une source importante en minéraux (Tableau VI). En effet, l'assise d'aleurone, représentant l'une des couches formant le son de blé, est très riche en vitamines (B1, B2, B3, B6, B9 et E) et en minéraux (P, K, Mg, Mn et Fe) (POMERANZ, 1988 ; FEILLET, 2000 ; ANTOINE et *al.*, 2002 ; KEVITH.M, 2004).

**Tableau VI** : Teneur en minéraux et en vitamines du son de blé (FEILLET, 2000).

Minéraux (mg/100g de son)		Vitamines (mg)	
Potassium	1000-1500	Vitamine E	2-6
Magnésium	500-700	Vitamine B1	0.4-0.8
Calcium	100	Vitamine B2	0.1-0.2
Sodium	5-30	Vitamine PP	4-6
Zinc	10-50	Vitamine B6	0.5-1

Les protéines présentent 10 à 20% de la matière sèche du son de blé. Elles sont liées aux acides aminés aromatiques et aux arabinoxylanes (RHODES et STONES, 2002). Ils se situent dans le cytoplasme des cellules aleurones. Les protéines du son de blé ont un rôle important dans la mise en place de la structure des parois. Le son contient aussi une faible quantité de lipides. On les trouve au niveau de l'épiderme sous forme d'une fine couche et au niveau de la testa sous forme de couches épaisses. Les lipides jouent un rôle important dans la résistance au stress biotique et abiotique. Ils représentent une barrière physico-chimique sélective au passage de nombreux composés.

### II.1.2. Utilisation du son de blé

Dans l'industrie alimentaire, le son de blé est utilisé comme alternative des substrats synthétiques utilisés dans le processus de fermentation (PANDEY, 1992) ainsi que dans la production d'enzymes et de métabolites secondaires. Il est aussi utilisé dans la production de plusieurs types de moisissures, dont la trichoderma (JAVED et *al.*, 2011) et la production biologique par fermentation (HAWKES et *al.*, 2008). Cependant, l'application principale du son de blé concerne l'alimentation animale : en raison de ses propriétés nutritionnelles, il permet d'améliorer la qualité nutritionnelle des produits alimentaires de source animale.

### **II.1.3. Effet du son de blé**

#### **II.1.3.1. Effets du son de blé sur la qualité du pain**

##### **➤ Absorption d'eau**

La pâte formée à base de son de blé absorbe plus d'eau que la pâte composée à base de farine seulement. Cette augmentation peut être expliquée par la composition du son et la taille de ces particules.

La composition du son de blé influence aussi l'absorption de l'eau par la pâte. Le son de blé est très riche en arabinoxylanes qui sont très hydrophiles et présentent une forte capacité de rétention d'eau (BOUDREAU et MENARD, 1992). La nature des fibres qui composent le son a aussi un effet sur l'absorption d'eau. Les fibres solubles augmentent la vitesse d'absorption contrairement aux fibres insolubles.

##### **➤ Texture de la pâte**

La composition du son de blé diffère de celle de la farine de blé. Cette différence peut être remarquée lors de la réalisation du pain. La présence d'acide férulique peut provoquer une réduction du temps optimal de pétrissage et diminuer l'élasticité de la pâte. En revanche, les arabinoxylanes améliorent la rétention des gaz dans la pâte (CHAPLIN, 2004). La grosseur des particules a aussi une influence sur le volume du pain en brisant les réseaux du gluten lors du malaxage de la pâte.

##### **➤ La qualité organoleptique du pain**

La substitution d'une partie de la farine par le son de blé pour la fabrication du pain provoque un changement dans la couleur et les propriétés rhéologiques de la pâte. Plusieurs études ont démontré que l'utilisation du son de blé dans la fabrication du pain détériore les propriétés rhéologiques de la pâte, diminue le volume du pain et augmente la fermeté de la mie (WANG et *al.*, 2002 ; HUNG et *al.*, 2007). En effet, les chromophores changent la couleur de la farine en une couleur brune foncée. La quantité importante de fibres présente dans le son de

blé provoque une augmentation de la rétention d'eau ce qui altère le caractère viscoélastique de la pâte et affecte la fermentation de la pâte et la conservation du pain pendant le stockage.

L'augmentation de la rétention d'eau provoque la domination du caractère visqueux de la pâte et augmente sa résistance à l'extension ce qui forme une pâte collante qui sera difficile à préparer et à cuire. De plus, les fibres alimentaires diluent la protéine de gluten dans la pâte lors du mélange et cause la formation d'une pâte faible et inextensible (HUNG *et al.*, 2007).

La dilution de la protéine de gluten empêche la formation de matrice de gluten optimale pendant le mélange de pâte. La dilution affecte également la formation d'un réseau élastique de molécules de gluten réticulées pendant la cuisson, ce qui entraîne des perturbations du réseau de gluten et diminue le volume de la mie du pain (KATINA *et al.*, 2001 ; HASSAN *et al.*, 2008).

### **II.1.3.2. Effet sur la santé**

Contrairement à la farine blanche qui est dépourvue de la partie externe du grain de blé, le son de blé est riche en antioxydants, en polyphénols et en d'autres composés qui peuvent être bénéfiques pour l'organisme et prévenir plusieurs maladies tel que la colopathie.

## **II.2. Syndrome de l'intestin irritable (Colopathie)**

### **II.2.1. Définition**

La colopathie fonctionnelle, encore appelée trouble fonctionnel intestinal (Trouble fonctionnel intestinal) ou surtout syndrome de l'intestin irritable (Syndrome de l'intestin irritable), est une affection fréquente (plus présente chez la femme) qui se définit par la coexistence de douleurs abdominales chroniques et de troubles du transit (constipation, diarrhée, alternance des deux) qui se majorent lors des poussées douloureuses.

La description de troubles non limités au côlon a rendu la terminologie colopathie fonctionnelle impropre et explique l'introduction du terme « syndrome de l'intestin irritable ».

### **II.2.2. Symptômes**

Les symptômes de la colopathie fonctionnelle touchent l'ensemble du tube digestif et peuvent donc concerner aussi bien l'estomac et l'intestin grêle que le côlon (PIERRICK.H, 2019). En cas de colopathie fonctionnelle on retrouve :

- Un ballonnement ;
- Sensation de ventre gonflé ;
- Des selles plus liquides (diarrhées) ou des selles plus dures (constipation).

### **II.2.3. Causes**

Il n'y a pas de cause connue pour ce trouble. Il semblerait que la colopathie fonctionnelle soit liée à un trouble de la motricité intestinale. Les contractions du côlon, trop fortes ou trop faibles, modifient la vitesse de déplacement des aliments entraînant soit une diarrhée, soit une constipation.

Par ailleurs, au moins 60 % des personnes présentant le syndrome, et en particulier celles souffrant d'une forme diarrhéique, ont des intestins plus sensibles. Cette hypersensibilité intestinale entraîne des phénomènes physiologiques comme les ballonnements ou les contractions. L'origine de cette hypersensibilité est mal connue (CHICHEPORTICHE.A, 2019).

#### **II.2.4. Les fibres et leurs impacts sur la colopathie**

Les fibres du son agissent essentiellement au niveau des intestins. En effet, ils augmentent le poids des selles, ce qui réduit le temps de transit intestinal, diluent les neufs composants qui se trouvent dans le colon et stimulent aussi la fermentation bactérienne (BINGHAM et *al.*, 2003) ; Ainsi que la production d'acides gras à chaînes courtes qui sont facilement absorbés par le colon et qui contribuent à l'absorption d'eau et de sodium (HEBUTERNE, 2002). De plus ces acides gras à courtes chaînes présentent une importante source d'énergie pour les bactéries de l'intestin ce qui améliore la digestion (CHAPLIN, 2004).

Plus particulièrement, les fibres sont fermentées dans le colon et permettent la prolifération bactérienne et l'augmentation de la masse des fèces, augmentent ainsi la viscosité de l'estomac et le contenu de l'intestin (CABALLERO et *al.*, 2004). Selon ROSALDO (2000), certains produits qui résultent de la fermentation des fibres pourraient avoir un effet laxatif et ralentissent aussi l'absorption du glucose mais ne provoquent pas son mal absorption.



# Chapitre III

## Processus de transformation



Le blé utilisé pour la mouture doit être propre. Comme bien souvent, il contient des impuretés de différentes natures, il va être nécessaire d'effectuer un nettoyage préalable comprenant plusieurs traitements. Le blé doit d'être aussi convenablement hydraté pour donner un rendement maximal en farine (GODON, 1991).

### **III.1. Objectif de la mouture**

L'objectif technologique de la mouture consiste à séparer l'amande farineuse du son et du germe puis à réduire l'amande en farine.

Pour obtenir ce résultat, il faut que le blé soit industriellement pur (nécessité d'un nettoyage) et préparé d'une façon optimale (incorporation d'eau suivie d'un temps de repos adéquat ; et différenciation à faire pour le blé tendre : blé soft ; medium ; hard) (BOURSON, 2009).

### **III.2. Principe de mouture**

Le blé conditionné est transporté jusqu'à la première paire de cylindre de broyage où commence la séparation progressive de l'amande d'enveloppes. Le principe de la mouture repose sur l'ouverture du grain afin de détacher la plus grande quantité possible de l'albumen de l'enveloppe du grain de blé et de réduire progressivement l'amande pratiquement pure en produit fini (FEILLET, 2000).

On peut résumer la mouture de blé en deux phases :

- Séparer l'amande farineuse du son et du germe, cette phase est réalisée au cours de broyage qui repose essentiellement sur la préparation du blé ;
- Réduire cette amande en granule fine qui peut être classé comme farine répondant aux normes et aux besoins des consommateurs, cette phase est réalisée au cours de convertissage et de claquage. L'opération de la mouture se fait par série d'équipement dont chacun à un rôle spécifique (NURET, 1991).

#### **III.2.1. Préparation des grains de blé :**

La préparation des blés à la mouture intègre deux actions principales :

- Le nettoyage du grain
- Le conditionnement : L'humidification du grain avant mouture

### III.2.1.1. Nettoyage

Le blé tendre sale réceptionné à partir des silos est préalablement pré-nettoyé ; les séparations sont plutôt superficielles visant essentiellement à enlever le plus gros lot de poussière et des impuretés, même après cette opération le blé en contient encore, arrivé au moulin subit une opération de nettoyage (FEILLET, 2000).

Les opérations de nettoyage du blé mis en œuvre sont définies par FEILLET (2000) comme suit :

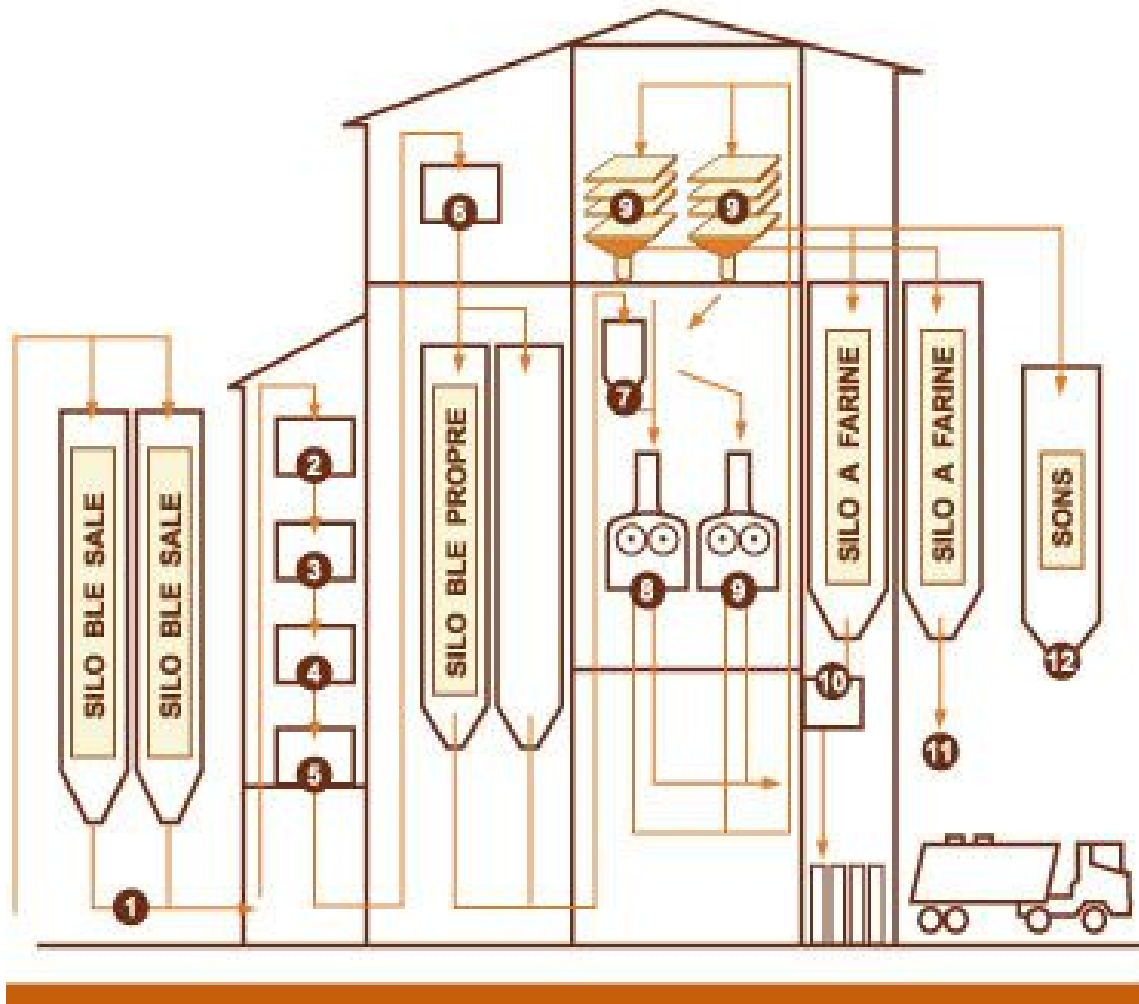
- **Séparateur magnétique** : sa fonction est l'élimination des morceaux métalliques afin d'éviter des ruptures des machines voire des explosions, la séparation de ces matériaux se fait par des séparateurs à aimants qui sont placés à différents points de la section de nettoyage.
- **Séparateur nettoyeur aspirateur** : cet appareil se compose de deux tamis légèrement incliné et muni d'un mouvement de va et viens, le tout se complète par une forte aspiration pour le débarrasser des bulles de la poussière et d'autres impuretés légères.
- **L'épierreur** : est un équipement qui sert à séparer d'une façon continue les pierres et les matières dont la forme et les dimensions peuvent être celles de blé mais qui sont d'un poids spécifique différent.
- **Trieur à grains** : ce dernier consiste à exploiter les différences de forme et de dimension.
  - Trieur à grain rond (TGR) : son rôle est d'extraire les grains ronds et refuser les grains de blé et les grains longs.
  - Trieur à grain long (TGL) : son rôle est d'extraire le blé et refuser les grains longs.

### III.2.1.2. Le conditionnement

Le terme conditionnement signifie couramment un traitement des grains par une combinaison d'humidité plus le temps de repos des grains mouillés. Le but du conditionnement est :

- D'assouplir les enveloppes pour ne pas qu'elle brise en fine particules lors de la phase de broyage ;
- Ramollir l'amande de telle sorte qu'elle se fragmente durant les processus de la mouture ;
- Faciliter la séparation des enveloppes grâce à la diffusion rapide de l'eau ;
- Obtenir un produit fini de bonne qualité (WILLM, 1972).

## Fonctionnement d'un moulin



- |                          |               |                         |
|--------------------------|---------------|-------------------------|
| ① FOSSE DE DECHARGEMENT  | ⑤ EPOINTEUR   | ⑨ PLANSICHTERS          |
| ② NETTOYEUR / SEPARATEUR | ⑥ MOUILLEUR   | ⑩ ENSACHAGE             |
| ③ EPIERREUR / EMOTTEUR   | ⑦ SILO TAMPON | ⑪ EXPEDITION VRAC       |
| ④ TRIEUR A GRAINE        | ⑧ CYLINDRES   | ⑫ EXPEDITION DES ISSUES |

**Figure 06 :** Illustration du fonctionnement d'un moulin (FEILLET, 2000).

### III.2.2. Les appareils de mouture

La mouture du blé tendre est principalement réalisée par deux types d'appareils :

### III.2.2.1. Appareil à cylindre

C'est l'élément principal de la mouture, il permet la décohésion des produits (BOURSON, 2009).

Les cylindres qui constituent ces appareils sont classés selon la nature ou l'état de surface en 02 groupes :

#### ➤ **Cylindres cannelés**

Ce sont des rouleaux métalliques en surface sur lesquels ont été gravées des cannelures. Celles-ci sont des sillons asymétriques régulièrement tracés en surface des cylindres, dans le sens de la longueur et dont la largeur et la profondeur peuvent être respectivement comprises entre 800 - 2500 et 200-600 $\mu$ m. (FEILLET 2000).

- **Broyeur / désagrégeur** : C'est le premier cylindre de mouture servant à écraser le grain de blé afin d'extraire de la farine (BEROT et GODON, 1991). C'est une machine constituée de deux cylindres cannelés entraînés en sens inverse et à des vitesses différentes (rapport des vitesses est d'environ 2.5). L'écartement entre les deux cylindres est réglable (FEILLET, 2000).

#### ➤ **Les Cylindres lisses**

Ce sont des rouleaux métalliques dont la surface est sans aspérité (FEILLET.2000).

- **Claqueurs et convertisseurs** : machines à cylindres lisses tournant en sens inverse et à des vitesses différentielles faibles. Leurs rôles consistent à la réduction des produits plus gros, plus dispersés en farine (BOURSON, 2009).

### III.2.2.2. Appareils à blutage

Servent à séparer les produits issus des appareils à cylindres (fragmentation, fractionnement et la réduction) (BOURSON, 2009).

- **Planshister** : est essentiellement une série de tamis superposés, l'action de tamisage s'exerce par un mouvement de rotation parallèle au sol (FEILLET, 2009).
- **Sasseur** : est un équipement qui a pour fonction de classer les particules de broyage selon leur densité et leur granulation qui permet d'augmenter l'extraction de farine avec une teneur basse en cendres (BOURSON, 2009).

### III.2.3. Les principales opérations de la mouture

- **Broyage**

Cette phase est la plus importante dans le processus de mouture car elle influe directement la qualité et le rendement de produit fini, c'est la première opération qui s'exerce sur un blé nettoyé et conditionné. Elle consiste à détacher l'endosperme de l'enveloppe sous une forme de particule grosse en évitant de briser le son. Le but de cette phase est :

- Fragmenter le grain de blé pour faciliter l'extraction de l'amande.
- Effectuer la meilleure séparation entre l'amande et les enveloppes (FEILLET, 2000).

➤ **Blutage**

Cette opération est réalisée par des tamis disposés dans les compartiments de plansichter, son but est de classer les produits qui proviennent des appareils de broyage, de convertissage et de réduction suivant les dimensions des différentes particules (BOURDEAU et MENARD, 1992).

➤ **Séchage**

Elle se fait aussi à l'aide des compartiments de plansichter comportant des tamis superposés, c'est une opération qui consiste à achever le blutage et éliminer complètement la farine qui se trouve mélangé aux semoules fines et finots. L'extraction consiste en la farine. Alors que le refus est envoyé aux sasseurs (WILLM, 2001).

➤ **Sassage**

C'est une opération qui sert en particulier à classer les gruaux selon leur densité donc c'est l'intermédiaire entre le broyage et la première phase de réduction de produits de claquage (BOURSON, 2009).

➤ **Désagrégeage**

Il est réalisé à l'aide des appareils à cylindres finement cannelés dont l'objectif est de libérer le plus possible d'amande farineuse adhérente aux fragments d'enveloppes et obtenir le maximum de farine pur. En effet, c'est une opération qui complète le processus de broyage situé parallèlement à celui-ci (WILLM, 2001).

➤ **Claquage**

Cette opération est pratiquée sur des appareils à cylindres lisses suivis de détacheurs. Il sert à réduire progressivement les produits venant du broyage et du sassage en particules fines, moyenne donc production des grains très propres qui sont transformés en farine durant le convertissage, alors que le refus de calquage constitue le remoulage bis (BOURSON, 2009).

➤ **Convertissage**

C'est l'opération finale de la réduction qui consiste à réduire les grains et les finots de broyage et claquage pour extraire le maximum de farine, sa qualité et sa quantité dépendent

beaucoup de perfectionnement de ce procédé car la plus grande quantité de farine extraite dans la mouture se fait dans la phase de convertissage environ 40 à 45%, le convertissage est pratiqué à l'aide des appareils à cylindre lisses suivis des détacheurs (BOUKARBOUA et BOULKROUM, 2016).

➤ **Curage du son**

C'est une opération qui consiste à réduire au maximum la quantité d'amande adhérente sur la face intérieure des enveloppes, elle est assurée par des brosses à son alimenté par le refus (WILLM, 2001).

➤ **Etape de sûreté à farine**

Cette étape est réalisée par un plansichter de sûreté qui sert à éliminer les particules étrangères, ces dernières peuvent se trouver dans la masse de farine après le stockage comme des éléments métalliques qui peuvent être libérés par des appareils de mouture ou de certaines particules grosses lors de l'usure des tamis à farine ainsi la récupération de certains fragments d'insectes (WILLM, 2001).

➤ **La mise en sac**

Cette étape se fait à l'aide des tapis roulant qui sert à transporter la farine, le blé et le son des silos de stockage vers la main d'œuvre puis vers les machines qui servent à graver les sachets (DOUMANDJI et *al.*, 2003).

➤ **Etiquetage de la farine :**

Les farines livrées doivent porter sur les sacs les mentions suivantes :

- Nom et adresse du meunier où de l'entreprise ;
- Dénomination de vente ;
- Type de farine : 45, 55,65 ;
- Date limite d'utilisation optimale : DLUO ;
- Le poids net de farine ;
- La liste des ingrédients et améliorants utilisés (cas farine corrigée).

### III.2.4. Nature des produits de mouture

➤ **Farine** : elle est constituée par des particules d'amande très fines de blé résultant de sa réduction, on distingue deux farines :

- Farine panifiable : qui est désignée à la fabrication du pain.
- Farine supérieur : qui est désignée à la pâtisserie.

- **Finots et grains** : ils viennent de différents passages d'appareils à cylindres, ils sont des produits vêtus similaires.
- **Issus** : représentent les particules et les fragments d'enveloppes des grains, on distingue des grains par les sons et les remoulages.
- **Son** : constitué par des enveloppes du grain, on distingue deux sortes de son qui sont : son gros, son fin.
- **Remoulage** : ce sont des mélanges d'enveloppes plus au moins finement broyé, on trouve : le remoulage blanc et le remoulage bis (BOURSON, 2009).

### III.2.5. Stockage des produits finis

#### ➤ Stockage de la farine

Après l'opération de l'ensachage, le produit sera soit stockée dans un hangar de grande capacité 150 tonnes pendant quelques jours ; ce temps de repos nécessaire à l'équilibre de ses propriétés technologiques. La durée idéale pour cette maturation serait de 15 à 20 jours. Après ce repos (plancher) la farine traverse une période de stabilité ou son utilisation est optimale puis elle sera transportée directement aux plusieurs points de ventes soit sera transporté par des camions aux clients de l'unité ;

#### ➤ Stockage de son

Les issus sont des produits finis outre que la farine tel que le son fin et son gros, le remoulage, ils mélangent dans des canalisations et transportés vers des chambres à son, on l'extrait des cellules de stockage pour le chargement dans les camions (DOUMANDJI et *al.*, 2003).

Blé propre a 100 %



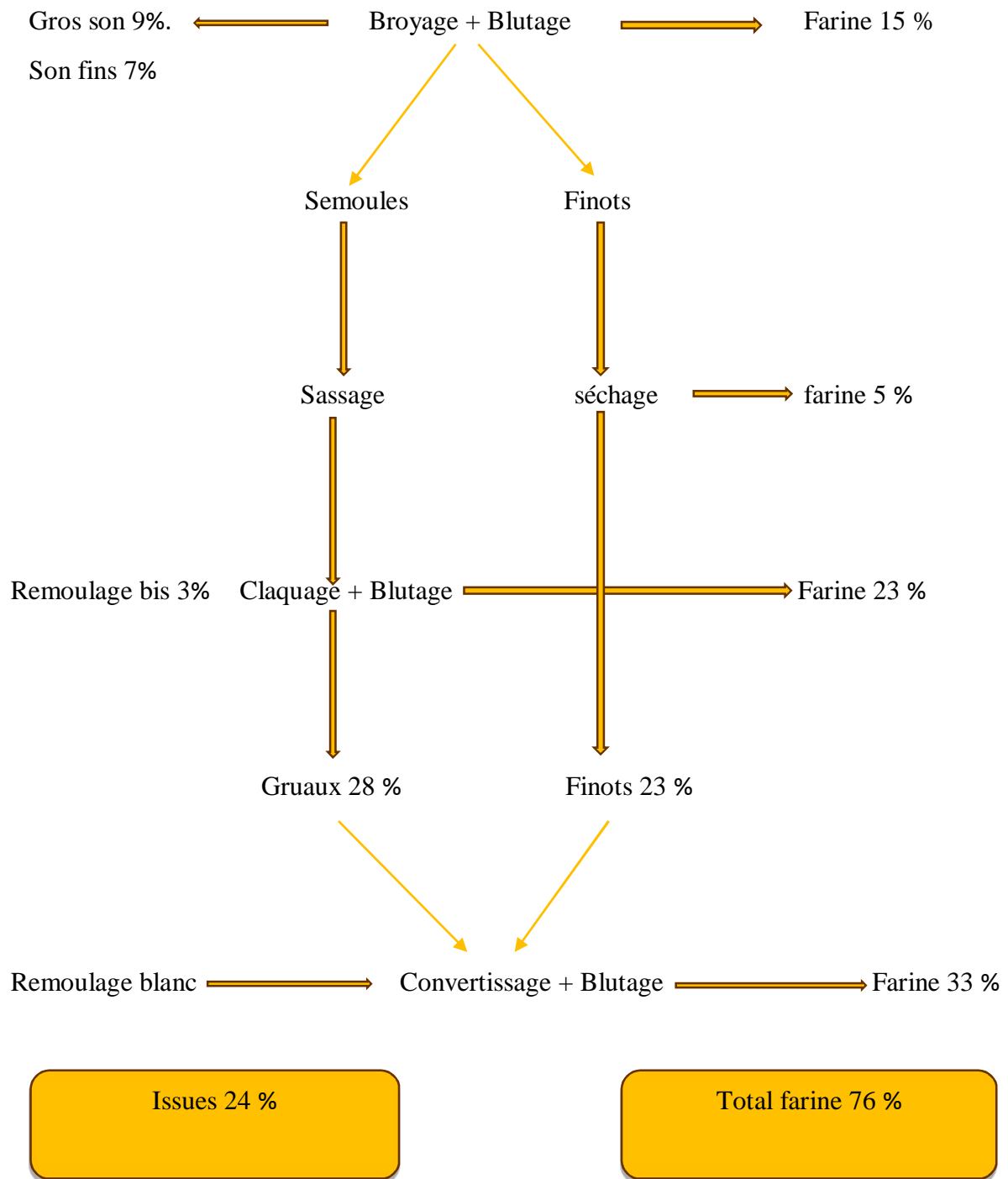


Figure 07 : Diagramme de mouture de blé tendre (WILLM, 2001).



# Chapitre IV

## La farine



### IV.1. Définition et composition d'une farine

La dénomination « farine » ou « farine de panification » sans autres qualificatif, désigne la farine de blé tendre *Triticum aestivum*. C'est des particules très fines d'amande de couleur blanche qui passent à travers des ouvertures de tamis de maille 193 $\mu$  (GODON et WILLM, 1998).



Figure 08 :

Farine de

blé tendre.

Selon le décret exécutif N° 91-572 du 31 décembre 1991 relatif à la farine de panification et au pain (Journal Officiel N°36, 1991) :

« La farine de panification est le produit de mouture de grains de céréales aptes à la panification, et est préalablement nettoyé, sans autre modification que la soustraction partielle ou totale des germes et des enveloppes ».

- La teneur en eau doit-être  $\leq 15$  %
- L'indice de chute compris entre 180 et 280.
- Le W compris entre 130 et 180.
- Le P/L entre 0.45 et 0.65.
- L'indice de ZELENEY de 22 à 30.

Si la farine n'est pas issue de blé tendre elle devra être suivie d'une indication ou de son issue.

## IV.2. Composition biochimique de la farine de blé tendre

Il est important pour le meunier de pouvoir établir la carte d'identité de chacune de ses fabrications. Cela lui permet de classer ses farines et de répondre précisément aux besoins du boulanger. Chaque composant joue un rôle essentiel au moment de la fabrication du pain. La composition moyenne d'une farine est représenté dans le tableau VII.

**Tableau VII** : La farine de type 55 est composée de plusieurs éléments (FEILLEIT, 2000).

Constituants	Taux en pourcentage %.
Amidon (glucide)	70 %
Protéines	8 à 12 %
Sucres	2 %
Pentosane ( fibres – celluloses)	2 à 3 %
Eau	15,5 %
Vitamines et enzymes	/
Matières grasses	1 à 2 %

### IV.2.1. Les glucides

Les glucides sont particulièrement présents pour fournir l'énergie et ils sont majoritaires dans la farine. Une farine panifiable comporte divers types de glucides (FEILLET, 1984).

#### IV.2.1.1. L'amidon

Il est le principal polysaccharide de réserve des végétaux supérieurs, il constitue la fraction la plus importante de la farine et occupe 78 à 83% de la farine (GRANDIVOINE et PRATAX, 1994).

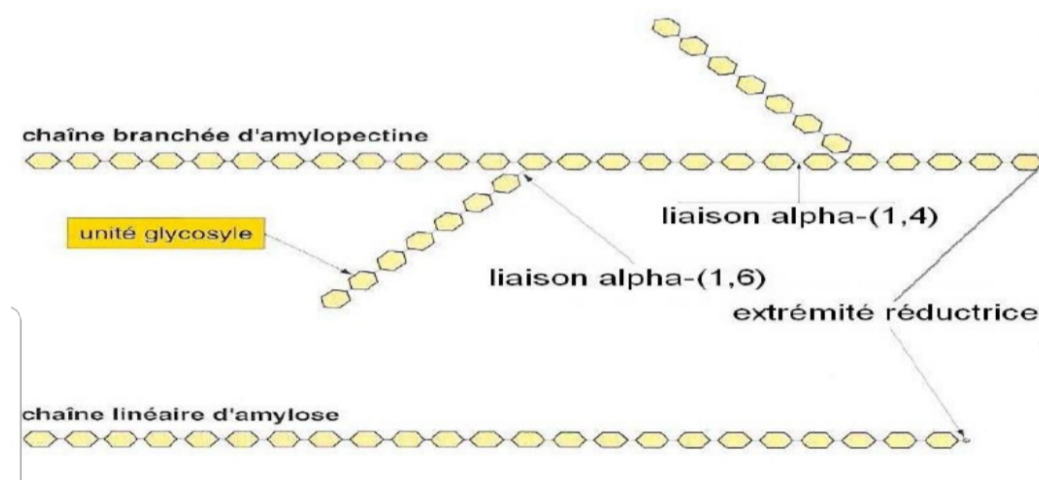
Il se présente sous forme de granules lenticulaires variant de 2 à 5 microns. Ces granules formés par l'association de deux molécules : l'amylose 24 à 26% et l'amylopectine 74 à 76% (BOURSON, 2008).

- **L'amylose** : a une structure linéaire composée d'une chaîne de 100 à 700 molécules de glucose liées entre elles par des liaisons osidiques alpha (1-4) ; à l'état dissous elles se

transforment entièrement en maltose sous l'action des amylases ; par contre à l'état solide l'amylose ne subit aucune modification.

- **L'amylopectine** : est une chaîne ramifiée de 200 à 500 molécules de glucose liées entre elles par des liaisons osidiques alpha (1-4) et alpha (1-6) ; l'amylopectine peut se ramifier sans se dissoudre dans l'eau chaude et se gélifie par refroidissement. (BOUSSAID, 1992)

Au cours de la fermentation et de la cuisson ; l'amidon est transformé par les  $\alpha$ -amylases présentes dans la farine ; celle de la levure et par les  $\beta$ -amylases en dextrines et sucres assimilables (GRANDVOINNET, 1994).



**Figure 09** : Structure de l'amylose et l'amylopectine (FEILLET, 2000).

#### IV.2.1.2. Les pentosanes

Les pentosanes sont des polysaccharides non amylacés constitutifs des parois cellulaires de l'albumen, ils représentent 6 à 8% du grain et 2 à 3% de la farine et ils sont composés principalement par l'union de deux pentoses qui sont : D-xylose et L-arabinose (FEILLET, 2000).

Ils sont liés de manière covalente avec une protéine pour former une glycoprotéine qui, une fois en solution n'est pas dénaturée par la chaleur et participe avec l'acide férulique au phénomène du gel durant la cuisson de la pâte, aussi ces polysaccharides en panification jouent un rôle important dans la rétention d'eau, ainsi leur participation à la viscoélasticité de la pâte, leurs propriétés stabilisantes et émulsifiantes par conséquent ils participent à la diminution du temps de pétrissage et l'augmentation du volume du pain (ALAIS et *al.*, 2003).

#### IV.2.1.3. La cellulose

Elle constitue l'élément majoritaire de la paroi cellulaire, c'est un polymère glucidique de haut poids moléculaire, constitué en moyenne 3000 unités glucose liées en  $\beta$  (1-4). La

cellulose possède certaines propriétés physico-chimiques telles que la capacité de rétention d'eau ou de gonflement (OSMANI, 2003).

#### IV.2.2. Les lipides

Ils en contiennent seulement 2% et ceux-ci sont essentiellement localisés dans le germe et l'assise protéique. Leur dosage est un indicateur du taux d'extraction mais aussi des risques de mauvaise conservation de la farine (FREDOT, 2005).

La présence de matière grasse influe sur les protéines mécaniques de la farine : plus la farine contient des lipides moins sa force boulangère est importante. Un excès de matière grasse dans la farine peut avoir un de sévères conséquences sur sa conservation cela est dû à l'hydrolyse des lipides ce qui entraîne l'acidification de la farine par la libération des acides gras libres ce qui affecte négativement le gluten (JEANT et *al.*, 2007).

Ils sont classés selon leur extractibilité dans différents solvants (CHUNG et *al.*, 1978). On distingue :

##### ➤ **Lipides libres**

(70%) c'est la fraction lipidique qui peut être extraite directement par les solvants apolaires (éther de pétrole, hexane...). Ils sont constitués de triacylglycerol, de faible quantité de diacylglycerol, de monoacylglycerol et d'acide gras libres ;

##### ➤ **Lipides liés**

(30%) correspondant à la fraction extractible avec les solvants polaires, cette fraction interagit avec les autres constituants de la farine par des liaisons hydrophobes. Ils comprennent essentiellement des glycolipides et des phospholipides (CHUNG et *al.*, 1978).

#### IV.2.3. Les protéines

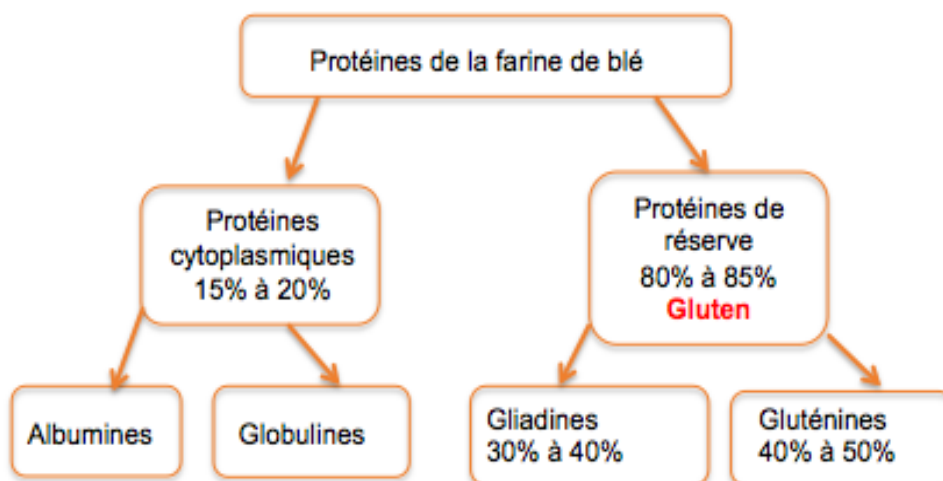
Osborne, en 1907, a été le premier à s'intéresser à la classification des protéines du grain de blé. En 1924, il définit quatre groupes de protéines (tableau) caractérisés selon leur solubilité dans différents milieux.

**Tableau VIII** : Les différents milieux de solubilité des protéines de la farine (OSBORNE, 1924).

Les protéines	Les milieux de solubilité
Les albumines	Solubles dans l'eau.
Les globulines	Solubles dans les tampons salins.
Les glutenines	Solubles dans une base ou un acide.
Les gliandines	Solubles dans une solution d'alcool à 70%.

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

- Les protéines métaboliques (cytoplasmiques) : les Albumines et Globulines ;
- Les protéines de réserves : les Gliadines et les Glutenines.



**Figure 10** : Composition des protéines de la farine de blé (FEILLET, 2000).

#### ➤ **Protéines métaboliques (les Albumines et Globulines)**

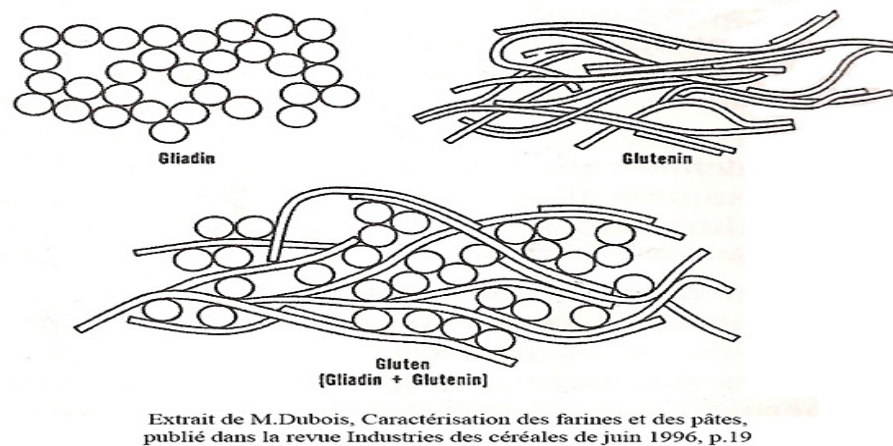
Les albumines et globulines encore appelées protéines solubles, représentent 15 à 20% des protéines présentes dans la farine de blé et sont solubles respectivement dans l'eau et les tampons salins. Ce groupe de protéines est très diversifié de par ses propriétés physico-chimiques (poids moléculaire, point isoélectrique, acides aminés) et fonctionnelles (activités enzymatiques :  $\alpha$  et  $\beta$ -amylase, protéases, oxydoréductases ; inhibiteurs enzymatiques, pouvoir émulsifiant (VENSEL et *al.*, 2005).

En combinaison avec les sucres ; les protéines solubles participent à la réaction de Maillard qui donne une partie de sa coloration à la croûte du pain (GRANDVOINNET et PRATAIX,1994).

➤ **Protéines de réserves (Protéines du Gluten)**

Ils sont aussi appelés prolamines en raison de leur richesse en proline et en glutamine. Ces protéines de réserve sont majoritairement localisées au sein de l'albumen amylopectine. Elles sont également les principaux constituants du gluten, le complexe protéique viscoélastique obtenu par lavage à l'eau d'une pâte de blé (Richard et al, 1996).

Lors de la panification les propriétés plastifiantes qu'ont les gliadines lorsqu'elles sont hydratées confèrent à la pâte son extensibilité ; sa viscosité et sa plasticité quant à la ténacité et l'élasticité de la pâte sont assurées par les glutenines lorsqu'elles sont présentes en quantité et en quantité suffisantes (FEILLET, 2000).



**Figure 11** : Schéma représentant les protéines de réserves ainsi que le complexe protéique viscoélastique (DUBOIS, 1996).

#### IV.2.4. L'eau

Moins de 16%, le taux d'humidité de la farine est un facteur important de conservation et de stockage (DUBOIS, 1994).

#### IV.2.5. Matières minérales

Elles représentent environ 0.45 à 0.60 %, on distingue :

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

La pureté de la farine se juge d'après sa teneur en résidus, les matières minérales apparaissent lorsqu'on calcine de la farine : après calcination, les résidus se retrouvent sous la forme de cendres. Comme les matières minérales existent en plus grande quantité dans les enveloppes du blé, on conclut que moins qu'il y a de cendres, plus que la farine est pure (COLAS, 1998).

#### **IV.2.6. Les sucres simples**

Ils représentent une faible quantité mais ils jouent un rôle important dans la fermentation de la pâte. Les sucres simples (glucose, fructose) sont formés par 6 atomes de carbone (ROUSSEL, 2002).

#### **IV.2.7. Les vitamines**

Ce sont des substances organiques vitales et nécessaires pour de nombreux processus tel que la croissance de l'organisme et de la reproduction. Elles ne sont pas synthétisées par l'organisme mais apportées par l'alimentation. Leurs quantités varient selon la qualité du pain ingéré car les vitamines se trouvent dans les couches périphériques du germe.

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

#### **IV.2.8. Enzymes**

Les enzymes sont des biocatalyseurs indispensables au métabolisme de nature protéique. Ils exercent une activité catalytique spécifique d'un très grand nombre de réactions chimiques. Les principaux facteurs du milieu qui contrôlent leurs fonctionnements sont la température, PH et l'activité de l'eau (FEILLET.2000).

Les enzymes qui appartiennent aux familles des hydrolases et des oxydoréductases sont les seules dont la présence a été mise en relation à la qualité de l'utilisation de la farine (CHEFTEL, 1977).

##### **IV.2.8.1. Les hydrolases**

###### ➤ Les amylases

$\alpha$ -amylase : elle agit sur l'amidon soluble et le dégrade en dextrines ; une surproduction de ce dernier risque (suite à des activités excessives) l'obtention des mies collantes et une croute fortement colorée ; par contre toute insuffisance conduit à une fermentation très lente et un développement faible du pain ;

$\beta$ -amylase : assure la transformation de l'amidon endommagé en maltose et fournit aux levures les sucres dont elles ont besoin pour assurer leur multiplication et la formation de gaz carbonique lors de la fermentation.

- Les protéases : elles hydrolysent les protéines et les complexes protéiques tel que le gluten et provoquent la détérioration irréversibles (la libération des chaînes peptidiques et des acides aminés)
- Les lipases : présentes dans la farine en fonction du taux d'extraction ; elles exercent au cours de l'entreposage des farines dans des conditions d'favorables en hydrolysant les triglycérides ce qui explique l'augmentation de l'acidité grasse des farines lors de leur conservation (BORNET.F, 1992).

#### IV.2.8.2. Les oxydoréductases

Les lipoxygénases : elles oxydent spécifiquement les acides gras insaturés libres. Cette oxydation est traduite par la destruction des pigments et des tocophérols (BOUSSAID, 1992).

### IV.3. Propriétés physiques ; physico-chimiques et technologiques de la farine

#### IV.3.1. Les propriétés physiques (organoleptiques)

Le but de la détermination des caractères organoleptiques de la farine est la détermination de sa pureté ainsi que la recherche de son état de conservation (FEILLET, 2000).

**Tableau IX** : Tableau représentatif des propriétés physique (organoleptique) de la farine de blé tendre (JOEL ABECASSIS, 2009).

	Qualités	Défauts
<b>A la vue</b>	Elle est d'une couleur blanche légèrement crème.	Une couleur bleutée indique un début d'altération De nombreuses piqûres indiquent un défaut de mouture
<b>Au toucher</b>	Elle est personnelle légère et agréable. Sur la langue, elle fait penser à de la colle fraîche.	Un goût amer, âcre, rance provient d'une mauvaise conservation.
<b>Odeur et saveur</b>	Elle peut avoir une granulation plus ou moins fine suivant les moulins : Ronde ( farines grossières ) Plate ( farines fines )	Une farine trop ronde favorise une fermentation lente. Une farine trop plate favorise une couleur rouge à la cuisson.

### IV.3.2. Propriétés physico-chimiques

- **Teneur en eau** : Le taux d'humidité de la farine est un facteur important de conservation et de stockage, et doit être inférieur ou égal à 15.5 % (NA.1132-2008/ ISO 712).
- **Teneur en cendre** : La détermination du taux de matières minérales, principalement réparties dans les enveloppes et les germes, qui donnent une indication sur le taux d'extraction pour le meunier (NA 733.7 1991/ ISO 2171).
- **Taux de protéine** : La teneur en protéines, par son intérêt technologique et nutritionnel, est un élément de la valeur d'utilisation du blé.
- **Acidité** : Les mauvaises conditions de conservation s'accompagnent par d'autres phénomènes : une dégradation enzymatique des lipides se traduisant par un accroissement de l'acidité du milieu, cette acidification constitue un indice d'altération de la qualité technologique.

Le tableau énonce les valeurs moyennes de la composition physico-chimique d'une farine de blé tendre :

**Tableau X** : Caractéristiques physico-chimiques de la farine de blé tendre (FEILLET, 2000).

Caractéristiques physico-chimiques de la farine de blé tendre	
Teneur en eau %	≤ 15,5
Teneur en cendre (MS%)	0,56 - 0,67 farine courante < 0.6 farine supérieure
Teneur en protéine (MS%)	> 8
Acidité en g/l de H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	0,045 - 0,05
Teneur en matière grasse (MS%)	< 1,4

### IV.4. Propriétés technologiques

La qualité d'une farine dépend de son utilisation future et il n'existe pas sur le marché une seule mais de plusieurs qualités de farines, cette dernière est définie par son aptitude à donner un bon produit fini, dans le cas de pain, c'est une farine qui permet d'obtenir bon et beau pain (GODON et WILLM, 1991).

#### IV.4.1. Notion de valeur meunière

Selon CALVEL, (1980) la valeur meunière d'un lot de blé peut être définie comme étant l'ensemble des qualités qu'il présente lors de sa mouture ; celles-ci sont directement liées au

rendement en farine et à la facilité de séparation de l'amande farineuse des enveloppes qui la recouvrent. Cette notion est associée au rendement maximum en farine obtenue à partir d'un lot de blé pour un type de farine déterminée, et elles se distinguent les unes des autres par des comportements différents en mouture. Une farine est caractérisée par :

- Le taux d'extraction : c'est-à-dire le rendement en farine pour 100 kilos de grains. La blancheur de la farine et sa pureté varient en rapport inverse avec le taux d'extraction, ainsi plus le taux d'extraction est élevé moins la farine est pure et par conséquent sa couleur est grise ;
- Le taux de blutage : qui représente à l'inverse, le pourcentage d'issues éliminées (BRULE, 2007).

#### IV.4.2. Notion de valeur boulangère

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

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

Il s'agit de la valeur d'utilisation de la farine pour la fabrication d'un produit de boulangerie (BRULE, 2007).

- La valeur boulangère (norme NF V03-716), intègre des notions distinctes :
- Le rendement en pâte : quantité d'eau que peut absorber la farine pour une consistance donnée ;
- L'aptitude de la pâte à être travaillée sans difficulté, et ce de la panification jusqu'à la cuisson. Cette caractéristique qualitative prend en compte les notions de collant, d'élasticité et d'aptitude à la déformation de la pâte ;
- Une activité de fermentation suffisante et régulière ;
- Le développement de la pâte et du pain : aptitude à la rétention gazeuse et à la déformation ;
- La qualité organoleptique de la mie du pain : couleur, odeur, texture ;
- La tolérance au pétrissage (particulièrement le pétrissage intensifié) sans relâcher ni coller excessivement, tout en étant extensible et élastique.

La qualité boulangère est régie par deux groupes de facteurs :

➤ **Les qualités physiques de la pâte**

Une pâte boulangère de bonne qualité doit posséder une certaine résistance au travail mécanique et pouvoir retenir correctement un maximum de gaz lors de la fermentation et la cuisson, donc posséder des propriétés rhéologiques convenables (ténacité, extensibilité, élasticité, force, ...). Les propriétés rhéologiques d'une pâte de farine de blé tendre sont dépendantes de la quantité et de la qualité des protéines présentes (WANG et al. 2007).

➤ **Les qualités fermentatives de la pâte**

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

#### IV.4.3. Notion de valeur technologique

Il s'agit de la valeur d'utilisation de la farine pour la fabrication d'un produit (pain, biscuit) dans des conditions opératoires bien définies dont la détermination suppose des protocoles de fabrication tel que la panification ou de mise en œuvre d'analyses indirecte pour l'appréciation de la qualité de la farine (ROUSSEL, 2005).

- **Tests directs** : L'essai de panification permet d'apporter une appréciation sur l'aptitude d'une farine à donner un pain de bonne qualité. Il permet aussi de porter un jugement direct, à la fois, sur la qualité de la pâte au cours des différentes étapes (tolérance au pétrissage, activité fermentative, comportement en cours de cuisson) et sur la qualité du pain obtenu (volume, aspect de la mie, couleur de la croûte) (FEILLET, 2000).

Ce test, dans de bonnes conditions de réalisation, demeure le moyen le plus objectif d'appréciation de la qualité boulangère (FEILLET, 1980).

➤ **Tests indirects** :

Parmi ces tests, certains mesurent les propriétés rhéologiques des pâtes telles que la force, la ténacité, l'extensibilité (alvéographe) ou d'autres mesurent les activités enzymatiques (temps de chute de HAGBERG) enfin certains sont basés sur la quantité et la qualité protéique des farines.

- **Indice de chute de HAGBERG** : détermine l'activité amylasique qui peut devenir excessive par suite à la présence de grain germé ou en voie de germination.
- **Essai à l'alvéographe Chopin** : Les caractéristiques plastiques d'une pâte déterminées par la mesure de W, du G et du P/L (LAUNAY, 1998).

**Tableau X1** : valeurs indicative de W pour différentes fabrications (SCHUK, 2007).

Destination	Force boulangère (W)
-------------	----------------------

Pates brisées	120 – 140
Pates feuilletées	180 – 200
Pain courant et pizza	180 – 220
Biscottes et pain de mie	200 – 240

- **Taux d'affleurement** : Il a été déterminé selon la méthode décrite par FEILLET (2000), le tamisage de 100 g de farine à travers un tamis spécifique (193 $\mu$ m d'ouverture de maille) dans un planshister qui fonctionne à une vitesse constante de 200tr/min.
- **Gluten sec** : Les deux principales protéines du Gluten sont les Gliadines et les Gluténines dans des proportions variables, la variabilité du gluten tant en qualité qu'en quantité est grande et dépend de la variété de blé, lieu de culture, conditions climatiques (FEILLET, 2000).

#### IV.5. Différents types de farine

La classification des farines (tableau XIII), est basée sur la teneur en cendres ou matières minérales. Du type 45 à 150, on passe de la farine la plus blanche (faible taux d'extraction en farine) à la plus « piquée », riche en enveloppes du grain (taux d'extraction en farine élevé). Cette différenciation est basée principalement sur la notion de pureté ou de blancheur, et ne correspond pas à une notion de valeur technologique même si le travail des pâtes est plus aisé avec des farines blanches qu'avec des farines bisées et complètes (BRULE, 2007).

**Tableau XII** : Types de la farine de blé (GODON et WILLM, 1998).

Type de farine	Nom commun	Quantité de farine pour 100 kg de blé	Taux de minéraux en % (taux de cendres)	Utilisation

<b>T 45</b>	Farine supérieure	65 kg	Moins de 0,5	Pâtisserie ; viennoiserie.
<b>T 55</b>	Farine blanche	75 kg	0,5 à 0,6	Pain courant ; biscottes .
<b>T 65</b>	Farine bise	78 kg	0,62 à 0,75	Biscuiterie
<b>T 80</b>	Farine semi-complète	80 à 85 kg	0,75 à 0,90	Pains spéciaux
<b>T 110</b>	Farine complète	85 à 90 kg	1 à 1,20	Pains bis
<b>T 150</b>	Farine intégrale	90 à 98 kg	Plus de 1,4	Pains complets



# Chapitre V

## La panification



### **V.1. Définition de la panification :**

La panification est un procédé qui permet de transformer la farine en pain. Le processus de panification est structuré par succession d'opérations unitaire. Elle demande la maîtrise de ses différentes étapes, et le savoir-faire de boulanger (LAUNAY, 1997).

### **V.2. Définition de la pâte**

On définit la pâte comme étant une farine délayée avec de l'eau et pétrie. Cette définition lie bien les deux facteurs indispensables de la formation de la pâte : hydratation et pétrissage. En effet, lorsque l'eau et la farine sont pétries, le mélange subit une importante évolution :

Les particules de farine s'hydratent, le mélange perd son caractère humide et granuleux, la pâte se forme, devient lisse, homogène et s'affermit (la farine -ou la semoule- est la seule

poudre connue capable de se transformer aussi radicalement et irréversiblement sous le double apport d'eau et d'énergie). La pâte est formée de trois phases à savoir :

- Une phase continue : le gluten ;
- Une seconde phase continue aqueuse : eau et constituants solubles ;
- Une phase dispersée et solide : granules d'amidon (LANDGRAF, 2002).

### V.3. Les ingrédients utilisés avec la farine en panification

#### V.3.1. L'eau

Se trouve sous trois formes liquide, solide, gazeuse à différentes températures. L'eau de coulage utilisé en panification ne doit présenter aucun danger pour le consommateur. La température de cet peut influencer sur la fermentation car une eau très chaude ou très froide peut engendrer un pain peu enveloppé avec une croûte terreuse et ferme.

##### ➤ Le rôle de l'eau dans la panification :

L'eau hydrate la farine, dissout le sel et suspend la levure en créant l'humidité nécessaire au réveil des enzymes (diastases) pour garantir une bonne fermentation et notamment la permission de formation du gluten.

Le dosage de l'eau est primordial pour le développement de la pâte et pour éviter un relâchement de cette dernière il est nécessaire de l'observer tout au long du pétrissage (BRULE et *al.*, 2007).

#### V.3.2. Le sel

Il se trouve à l'état naturel sous forme de particules fines et sous forme de solution saline dans l'eau de mer c'est d'où vient l'appellation du sel marin. Chimiquement (le tableau XIV) c'est du Na Cl chlorure de sodium.

En panification le sel améliore la maniabilité et les qualités physiques de la pâte et augmente sa tolérance.

Il augmente l'hygroscopicité du pain donc sa durée de conservation et favorise la coloration de la croûte durant la cuisson. Aussi il régularise la fermentation et améliore la saveur de la pâte (AUGUSTIN, 2011).

**Tableau XIII** : Composition chimique du sel (LANGRAF, 2002)

Composition chimique du sel en %	
Humidité	2,1
Na Cl	95,9
Sulfate de Ca	1,0
Sulfate de Mg	0,3
Sulfate Na	0,3
Chlorure de Mg	0,2
Sable	0,2

### V.3.3. La levure

La levure est une plante vivante microscopique unicellulaire appartenant à la famille des champignons et se multiplie par bourgeonnement. Elle possède une paroi cellulaire, une membrane cytoplasmique de nature lipoprotéique, un protoplasme qui contient le noyau de la cellule, les vacuoles, les ribosomes et mitochondries.

La levure est chimiotrophe ; elle ne contient pas de chlorophylle cela explique l'élaboration de son énergie par des interactions chimiques entre les sucres d'oxydoréduction de la fermentation (BRULE et *al.*, 2007).

#### ➤ La levure boulangère

La levure boulangère commercialisée est d'une forme sphérique ou ovoïde d'un diamètre de 6 à 8 microns et elle appartient à l'espèce *Saccharomyces cerevisiae*.

Il existe plus de 3300 espèces environ qui sont connues dans le monde mais sauf quelques-unes sont utilisées en panification.

Le rôle majeur de cette levure est de former le gaz carbonique ; sa rapidité de former est due à plusieurs facteurs :

- La nature du blé (origine, variété et les conditions de croissances) ;
- La nature de la farine selon le taux d'extraction (teneur en cendres) ;
- La température est un facteur très important et a une influence majeure sur la vitesse de la fermentation ;
- L'évolution de la transformation physique de la pâte est liée à son degré de rétention de gaz carbonique et cela à un lien avec la qualité du gluten et les conditions de déroulement de la fermentation (LANGRAF, 2002).

### ➤ Le cycle de vie la levure boulangère

Le cycle de vie de la cellule levurière se divise en deux catégories :

- La fermentation aérobie en boulangerie

Les cellules de levures se multiplient activement grâce à une alimentation équilibrée en eau et de sucres fermentescibles (saccharose ; glucose et maltose) dans un air stérile ajouté à des matières nutritives contenant de l'azote, du phosphore et son système enzymatique particulier. Les cellules se reproduisent et se multiplient rapidement ;

- La fermentation anaérobie

Dans ce cas la levure est incorporée dans la pâte, alors elle est privée d'oxygène par conséquent son système enzymatique ne lui permettra pas de se reproduire. Pour cela elle doit recourir à la dégradation des sucres en alcool et gaz carbonique nécessaires au bon déroulement du développement de la pâte (BRULE et *al.*, 2007).

#### V.3.4. Les améliorants

Les améliorants de panification sont des formulations composées d'ingrédients, d'enzymes et/ou additifs entrant, généralement en faible quantité et dans un but technologique ou organoleptique, dans la fabrication du pain (FEILLET, 2000).

Les ingrédients ainsi que avantages et inconvénients les plus utilisés en panification sont résumés dans le tableau XV.

**Tableau XV** : Quelques régulateurs technologiques en panification (LANGRAFF, 2002).

Ingrédients	Doses	Avantage	Inconvénient si excès
Farine de fève	2% du poids de la farine	Elle favorise le blanchiment de la pâte et de la mie de pain par action de la lipoxygénase. Elle active aussi la fermentation Elle permet d'augmenter le volume et donne une croûte homogène aux pain	Entraine la dégradation du gout du pain et le blanchiment de la mie.

Acide ascorbique	0.3% du poids de la farine	Il s'agit d'un puissant réducteur capable de créer des ponts disulfures entre les chaînes protéiques du gluten, ce qui permet de renforcer le réseau glutineux Il améliore le réseau glutineux durant le travail de la pâte et l'apprêt	Provoque une mauvaise extensibilité
Blé malté	0.3%	Ce blé est donc riche en amylases ; Il améliore le développement et l'aspect du pain, la couleur de la croûte et la texture de la mie.	Provoque un excès de coloration de la croûte.
La lécithine de soja	QNS	Apporte de la souplesse à la pâte (apport en matières grasses) ; Donne des pâtes qui s'allongent plus facilement ; Permet d'obtenir une mie plus moelleuse, plus fine.	Provoque le relâchement de la pâte
Poudre de gluten	QNS	Il renforce le réseau des pâtes, améliore la plasticité et le développement.	Diminue le volume des pains ; Allergène

QNS : quantité non spécifique

#### V.4. Définition du pain

Le pain est le résultat de la mise en œuvre d'une bonne farine type 55 mélangé à de l'eau qui lie entre ces particules de farine auquel s'ajoute du sel qui améliore la qualité ainsi que le goût de la pâte en présence d'un agent biologique est la levure et puis d'un pétrissage, d'une première fermentation, d'une division de la pâte d'un façonnage des pâtons, d'une deuxième fermentation, et d'une cuisson appropriée. Ce processus doit donner un produit d'un bel aspect, d'un beau volume, à la croûte légèrement cassée, bien dorée et croustillante, à la mie souple et élastique, bien aérée, la teinte blanc crème, une odeur agréable et d'un goût dont la saveur est séduisante et appétissante (ROUSSEL et CHIRION, 2005).

##### V.4.1. La valeur nutritionnelle du pain

Le pain fournit à notre organisme les substances nutritives et vitales qui lui sont indispensables. Sa valeur nutritive dépend de plusieurs facteurs, parmi eux : le taux d'extraction de la farine ainsi que sa provenance et du type de céréales utilisés.

Après la viande et le lait, le pain constitue la troisième source de protéines et il couvre 15 à 20% des besoins du consommateur. 100g de pain peut apporter une valeur énergétique de 1000 kilojoules (KJ) soit 40 kilocalories (Ca) avec :

- 7 à 9 g de protéines ;
- 1g de matières grasses ;
- 50g d'hydrates de carbone (EMILIE, 2007).

### V.5. Les opérations de panification

#### ➤ Le pétrissage

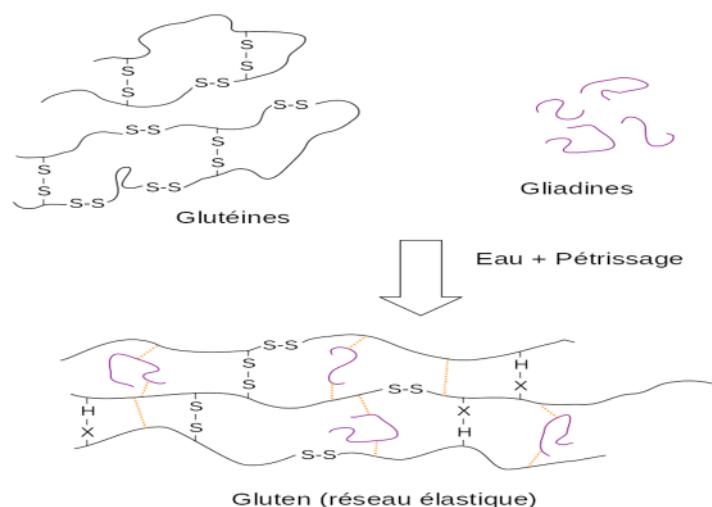
Le pétrissage se décompose en deux phases l'une à la suite de l'autre :

- Le frassage

C'est la première étape qui s'effectue, elle correspond au mélange des différents ingrédients en une pâte homogène. L'eau joue ici un rôle prépondérant ; celui de réaliser les réactions enzymatiques permettant la transformation de l'amidon de la farine en sucres composés (maltose) et sucres simples (glucose). Elle permet également de dissoudre le sel et de diluer la levure en créant ainsi le milieu propice aux transformations de la fermentation ;

- Etirage et soufflage

Cette étape caractérise le développement du réseau glutineux ; l'eau intervient aussi dans l'agglutinement, l'assouplissement et l'allongement de certaines des protéines contenues dans la farine et insolubles dans l'eau. Il s'agit des gliadines et des glutéines qui forment une matière plus ou moins molle et élastique (le gluten). Suffisamment hydraté, le gluten donne à la pâte son imperméabilité et ses propriétés rhéologiques (LANRGAF, 2002).



**Figure 12 :** Schéma représentatif de la formation du réseau du gluten durant le Pétrissage (MEREDITH, 1964).

➤ **Le pointage**

Constitue la première période de fermentation pendant laquelle la pâte commence la levée ou la poussée. Le premier rôle du pointage est de donner la force à la pâte. Cette prise de force correspond à la modification du gluten, ce dernier devient plus tenace, plus élastique et moins extensible. Le tissu glutineux formé peut retenir le dioxyde de carbone. Le second rôle est de favoriser le développement des arômes du pain, de nombreux facteurs influents sur la durée du pointage :

La température de la pâte, la température de l'air ambiant, la dose de levure, la température ambiante, l'hygrométrie de l'air, la méthode de pétrissage, la force boulangère de la farine et la quantité de sucres préexistant dans la farine (GUINARD et LESJEN, 2004).

➤ **La pesée et la division**

Cette étape est nécessaire afin d'assurer un poids de pain constant et garanti à la vente. La masse de la pâte initiale doit alors être devisée en pâtons de masse déterminée en selon le produit fini désiré. D'après l'étude de LANRGAF (2002), pour un pain de 400g cuit il faut peser des pâtons de 550g de pâte crue.

➤ **Boulage**

Cette opération consiste à arrondir et compresser les pâtons dans le but de réduire les grandes poches d'air et d'uniformiser la texture afin de retenir les gaz produits par la levure.

➤ **Détente**

Les pâtons sont ensuite mis au repos pour la phase détente ; celle-ci s'effectue en général dans des chambres de repos (LANRGAF, 2002).

➤ **Façonnage**

C'est la mise en forme des pâtons selon le type de pains désirés (baguette, couronne).

➤ **L'apprêt**

C'est la dernière étape de la fermentation avant la mise au four. L'apprêt permet essentiellement la levée du pâton due à la production de gaz carbonique. Ce sont les levures qui, grâce aux sucres et à l'amidon présents dans la farine, se multiplient en produisant du CO<sub>2</sub> sous forme gazeuse.

L'apprêt doit se dérouler dans de bonnes conditions de température et d'hygrométrie. Il est plus facile de maîtriser ces deux facteurs en réalisant l'apprêt dans des enceintes appelées « chambres de pousse contrôlées » (GUINARD et LESJEN, 2004).

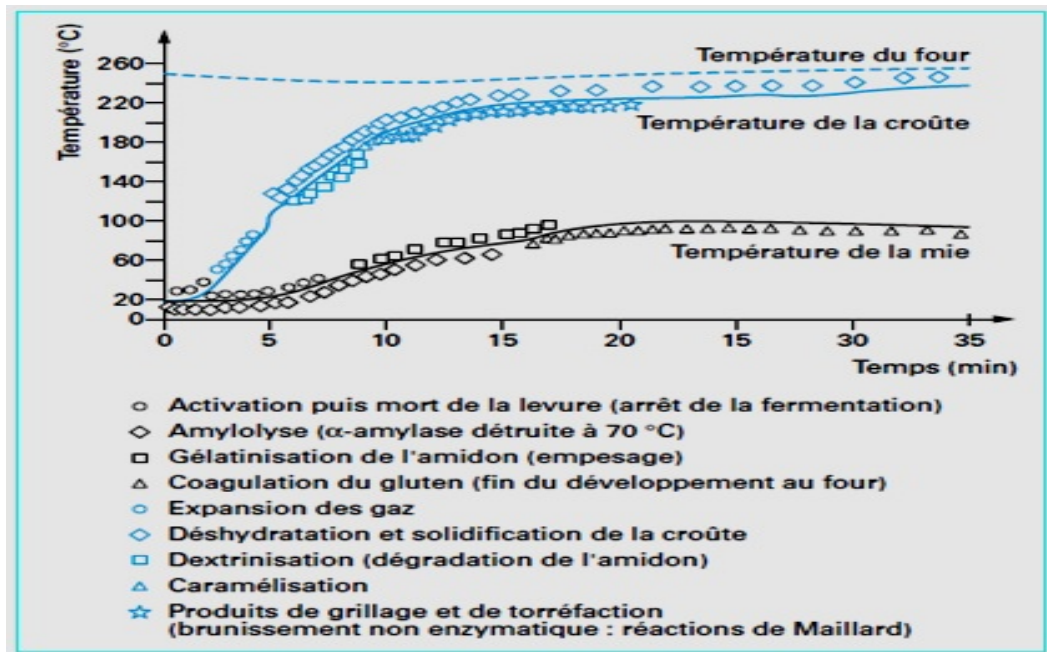
➤ **Scarification**

Le boulanger passe des coups de lame sur la partie supérieure de ses pâtons. Ces coups interviennent à la fois sur le développement et sur l'aspect extérieur et esthétique du pain.

D'une part, ils permettent au dioxyde de carbone de s'échapper là où le boulanger le souhaite sans ces incisions lors de la cuisson le pain risque d'éclater. D'une autre part, obtenir un bon et aussi beau un beau pain (GUINARD et LESJEN, 2004).

➤ **Cuisson**

La cuisson résulte d'un échange de chaleur entre l'atmosphère du four et du produit.



**Figure 13** : Action de la chaleur sur la pâte lors de la cuisson (BRULE et *al.*, 2007).

Jusqu'à 50°C, la levure poursuit son action et est même suractivée, puis elle meurt. Le pain continuera de lever au-delà de cette température grâce à la dilatation du gaz carbonique formé pendant la fermentation.

- De 55°C jusqu'à 83°C, l'amidon non transformé en glucose se gélifie sous forme d'empois ;
- A partir de 70°C jusqu'à 98°C, le gluten coagule pour donner définitivement sa structure à la pâte à pizza. La mie restera blanche car à aucun moment sa température ne dépassera 100°C ;
- A 100°C, l'eau s'évapore et provoque ainsi la dessiccation de la surface du pâton. (Formation de la croûte) ;
- Enfin, sous l'effet de la chaleur et de l'humidité, grâce au maltose et au dextrines localisés à la surface du pain, commence alors la dextrinisation de la croûte (réactions de Maillard : Déshydratation et solidification de la croûte : formation de produits de grillage et torréfaction, qui lui donne sa couleur et son arôme particulier).

La durée de cuisson varie en fonction de la grosseur des pains, de 12 à 13 minutes pour les petits pains et 45 à 50 minutes pour les gros pains. L'appréciation de la cuisson se fait d'après le degré de résistance de la croûte et d'après la résonance du pain quand il est frappé du bout du doigt à sa partie inférieure (BRULE et *al.*, 2007).

#### ➤ Ressuyage

Le ressuyage finalise le cycle de panification. Il débute à la sortie du four ; cette période pendant laquelle le pain refroidit ; s'accompagne d'un départ de vapeur d'eau et de dioxyde de carbone entraînant une légère perte d'humidité de la mie et aussi de poids du pain (BRULE et al., 2007).

#### V.6. Les altérations du pain

Après ressuyage, le pain reste un certain temps à l'état frais. Mais son évolution continue et plus ou moins rapidement selon sa qualité et son volume et ses conditions atmosphériques le pain rassit, moisit, la croûte devient molle ou dure et la mie s'émiette le pain perd ses caractéristiques organoleptiques (MAURICE.B, 1935). Parmi ces altérations :

- **Le pain filant** : c'est une altération provoquée par les *Bacillus subtilis* et *Bacillus mesentericus* qui ont des spores thermorésistantes leurs permet de survivre à la cuisson. Leurs symptômes se manifestent par une odeur indésirable due à la fermentation d'acétone et d'aldéhydes avec apparition des taches jaunes foncés qui collent au touché puis deviennent des filaments gagnant toute la mie ;
- **Le rancissement** : Le rancissement correspond d'une part, au transfert de l'eau de la mie (humide) vers la croûte (sèche) entraînant une perte du croustillant du produit et d'autre part, à un échange avec l'atmosphère extérieure (MAURICE.B, 1935).



# **Partie expérimentale**

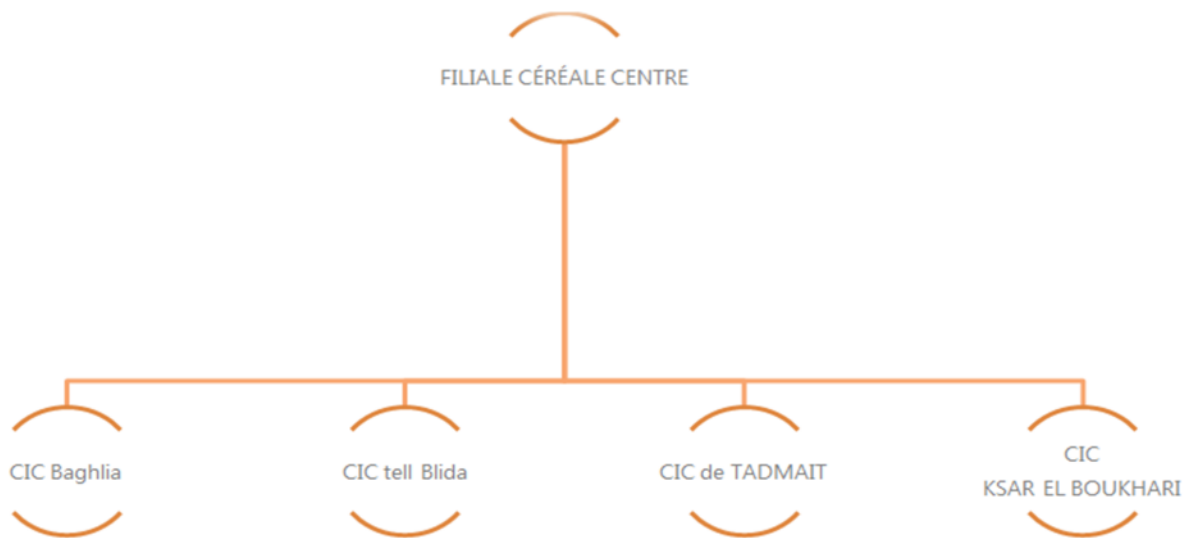
## **Présentation de l'organisme d'accueil**



**I. Présentation du groupe AGRODIV**

AGRODIV est un groupe spécialisé dans le domaine agro-alimentaire, sa direction générale située au niveau d'Alger (à EL HARRACH) qui présente une grande place sur le marché national à travers des groupes industriels. Cette direction se divise en plusieurs filiales implantées sur le territoire national (filiale céréales centre, DICOPA, hauts plateaux, Constantine), et donc la filiale céréales centre (FCC) fait l'une de ces dernières qui se situe à BLIDA. Elle se compose de quatre complexes industriels et commerciaux (CIC TADMAIT, CIC BAGHLIA, CIC TELL, CIC KSAR-EL BOUKHARI) (Figure 14).

Notre cas d'étude porte sur l'un de ces complexes qui est le (CIC TADMAIT). Cette dernière est une annexe de la filiale céréales centre de Blida.



**Figure 14** : Schéma représentatif des quatre complexes Industriels & commerciaux dénommés CIC de la filiale céréale centre.

## II. Présentation détaillé du CIC TADMAIT

### II.1. Définition

Le complexe industriel et commercial de TADMAIT est une minoterie étatique, (production de farine courante et supérieure), spécialisé dans le secteur agro-alimentaire d'où l'appellation du groupe AGRODIV. La capacité de trituration est de 3000 quintaux/jour, son objectif c'est d'atteindre les 63000 Quintaux/jour à la fin de chaque mois. L'activité principale de cette entreprise est la production qui consiste à transformer la matière première (blé tendre) en produit finis (farine) et sous-produits (son et déchets), grâce à des moyens de production : machines, personnel et capitaux. Ainsi que la commercialisation d'autres produits (ex : les pattes, le café) qui sont produits par les autres complexes du FCC ou carrément par d'autres filiales.



**Figure 15 :** Photo du complexe industriel et commercial de TADMAIT (Redmi note 7 caméra, 3000x4000pixel).



**Figure 16 :** Logo de l'entreprise.

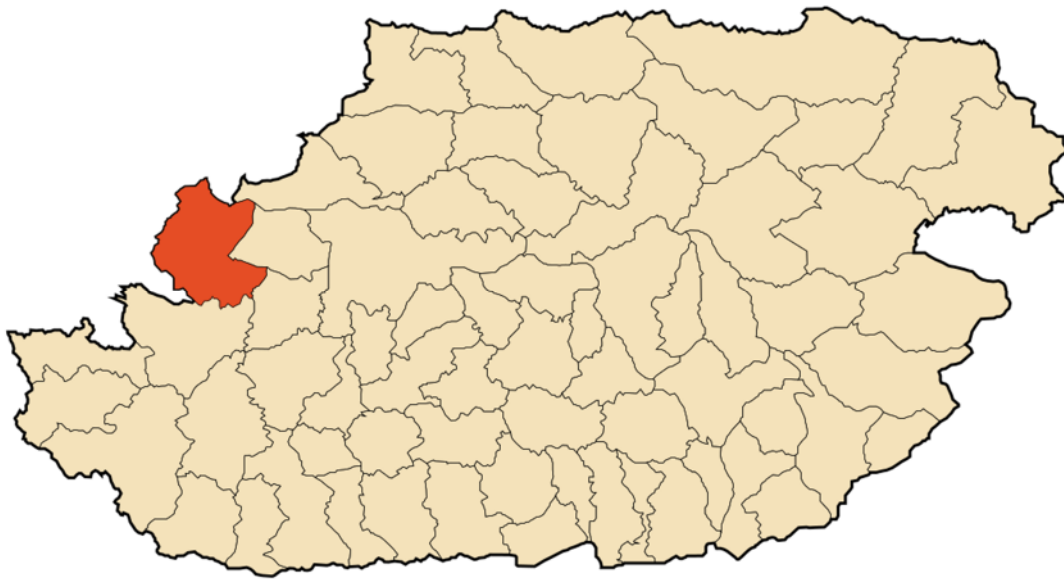
### **II.2.2. Historique des réalisations**

L'extension de ce complexe a été réalisée par quatre sociétés dont la partie génie civil est réalisée par une entreprise algérienne et la partie mécanique par trois firmes étrangères (Italienne) qui sont : SANGATI-MOLINO-GOLFETTO.

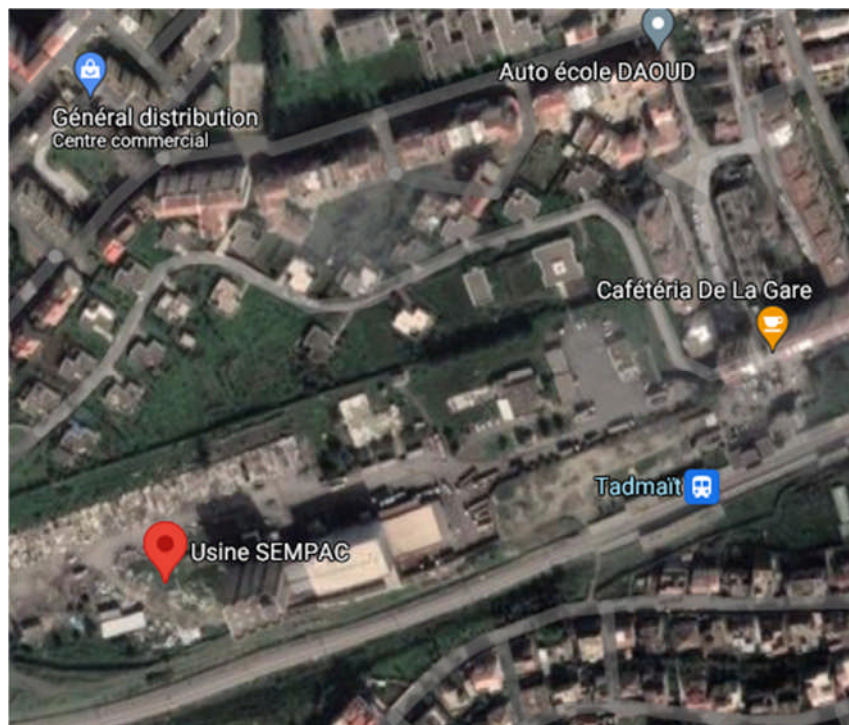
Le complexe de TADMAIT est devenu complexe industriel et commercial à partir du 01/01/2016 avec un taux d'extraction normatif de 75% pour la farine de 25% de son du blé, sa capacité de stockage est de 125000 QX pour la matière première.

### **VI.2.3. Situation géographiques et localisation de l'entreprise**

Le complexe industriel et commercial de TADMAIT est situé sur la route de la gare ferroviaire Tadmaït wilaya de TIZI OUZOU.



**Figure 17 :** Localisation de la commune Tadmaït dans la wilaya de Tizi-Ouzou (Google Maps, 2020).



**Figure 18 :** Localisation du complexe industriel et commercial de Tadmaït (Google Maps, 2020).

#### II.2.4. Identification de l'entreprise

**Tableau XIV :** Tableau représentatif des informations générales sur l'entreprise.

## Présentation de l'organisme d'accueil

<b>Dénomination de l'EPE/SPA</b>	<b>Complexe industriel et commercial de TADMAIT</b>
Capital social	200 000 000.00 DA
Adresse	Route de la gare ferroviaire TADMAIT
Ses équipements	Le moulin GOLFETTO
Date de mise en marche	Avril 2018
Personne à contacter	Directeur du complexe
Télé fax	026 27 02 33
Nombre d'employés	142
Email	Cic_tadmait@agrodiv.dz
Activité principale	Production et commercialisation des produits de meuneries (Blé tendre)



# Matériels et Méthodes



### I. Objectif de cette étude

Lors de la mouture du blé tendre ; les couches périphériques du grain sont éliminées et récoltées à la fin du processus et classées en deux catégories de son : le gros et le fin. Ces sous-produits sont riches en protéines et e fibres alimentaires.

Les données scientifiques contemporaines, montrent que le manque de fibres dans le régime alimentaire peut engendrer plusieurs pathologies intestinales ou digestives chez l'homme telles que : l'obésité, diabète et cancer du côlon.

C'est la raison pour laquelle une étude a été réaliser sur les possibilités de production d'un pain diététique au son. Celle-ci portera sur l'incorporation du son à la farine à différents taux en vue de produire des pains diététiques riches en fibres, capable de satisfaire les besoins des malades atteints de colopathie.

L'expérimentation a été menée en deux parties : la première partie réalisée au niveau du laboratoire de l'unité E.R.I.A.D Tadmait (Tizi-Ouzou) qui consiste à l'analyse des échantillons de matières premières (blé tendre, farine et le son). La seconde partie est l'essai de panification (pain au son à différents taux) faite chez un boulanger privé.

### II. Echantillonnage

L'échantillonnage est l'ensemble des opérations qui consistent à passer d'un lot initial à un échantillon de masse réduite à analyser au laboratoire afin d'estimer la qualité physico-chimique et technologique du produit. Il convient que le laboratoire reçoive, dans un emballage étanche, un échantillon réellement représentatif, non endommagé ou modifié lors du transport et de l'entreposage (NA737, 1990).

Selon OURAMDANE (2005), pour interpréter correctement tout résultat analytique, il est essentiel d'avoir un échantillon représentatif si certaines précautions d'échantillonnage ont été respectées :

- Prises d'échantillons avec des instruments stériles ;
- Mise de l'échantillon dans des récipients ou sachets stériles ;
- Respect des règles d'hygiène générale pour la personne effectuant le prélèvement;
- Rapidité de l'acheminement des échantillons dans l'attente de leurs analyses ;
- Conservation des échantillons dans un endroit frais et sec 8 à 15°C (Dunoyer, 1989).

Les échantillons de farine utilisés dans cette étude sont obtenus par incorporation de son fin à différents taux : 5%, 10%, 15% et 20% à la farine produite par l'unité E.R.I.A.D Tadmait (Tizi-Ouzou) :

- Nom de l'organisme livreur : (CCLS/D.B.KHEDDA) ;
- Provenance du blé tendre : port d'Alger ;
- Lieu de prélèvement : Silo N°303 ;
- Date de réception : mai 2021 ;
- Date de prélèvement : 02.05.2021 ;
- Date fin d'analyse : 02.05.2021.

### III. L'agrégage du blé

#### III.1. Poids spécifique (PS)

##### ➤ Principe

La masse à l'hectolitre est la masse d'un hectolitre de grains mesurée en kilogramme. Elle est calculée à partir de la masse d'un litre (Niléma-litre). Elle se fait par écoulement libre d'un échantillon au moyen d'une trémie dans un récipient d'un litre et pesée (AZIEZ et *al.*, 2003). Ce test a été réalisé en deux répétitions pour chaque échantillon de blé.

##### ➤ Mode opératoire

- Tarer la balance sur la mesure (le cylindre de nilémalitre) ;
- Monter la trémie de nilémalitre sur la mesure puis la remplir de grains jusqu'au bord sans tassage ni monticule ;
- Ouvrir l'obturateur à la base de trémie et laisser couler les grains dans la mesure ;
- Maintenir l'ensemble avec la main gauche et enfoncer ;
- Enlever la mesure et la peser ;

##### ➤ Expression des résultats

La masse à l'hectolitre est exprimée en kilogramme par hectolitre (exprimer le résultat avec deux décimales (AZIEZ et *al.*, 2003). Le blé est classé selon son poids spécifique (tableau XVI).

**Tableau XVI** : Classification du blé tendre (AZIEZ et *al.*, 2003).

Poids spécifique	Blé
$\leq 70$ kg/hl	Blé anormal
70 – 73 kg/hl	Blé faible

73 – 77 kg/hl	Blé moyen
77 – 80 kg/hl	Blé lourd

### III.2. Humidité :

#### ➤ Principe

Séchage du produit à une température comprise entre 130°C et 133°C, à pression atmosphérique normale, après broyage éventuel du produit (JO n° 08 – 2013).

#### ➤ Mode opératoire

- Effectuer deux déterminations sur le même échantillon de blé pour laboratoire ;
- Avant utilisation, les capsules découvertes et leurs couvercles doivent-êtré :
- Sécher à l'étuve durant 15 min à 130°C puis refroidis dans le dessiccateur jusqu'à la température du laboratoire (entre 30 min et 45 min) ;
- Broyer une quantité de l'échantillon de manière à avoir une prise d'essai d'environ 5 g ;
- Verser la totalité de la mouture obtenue dans la capsule tarée ;
- Il est nécessaire de bien l'homogénéiser ; il faut manipuler les capsules à l'aide de la pince et non avec les doigts ;
- Introduire la capsule découverte contenant la prise d'essai et son couvercle dans l'étuve et les y laisser séjourner pendant deux heures temps compté à partir du moment où la température de l'étuve est à nouveau comprise entre 130°C et 133°C ;
- Le temps d'étuvage écoulé, retirer rapidement la capsule de l'étuve et la placer dans le dessiccateur (elle restera jusqu'à atteindre la température du laboratoire). La peser ensuite (JO n° 08 – 2013).

#### ➤ Expression des résultats

$$\text{TH \%} = \frac{(p1+5)-p2}{p0} \times 100$$

**TH%** : Taux d'humidité ;

**P0** : Masse en gramme de la prise d'essai ;

**P1** : Masse en gramme de la prise d'essai et de la capsule avant séchage ;

**P2** : Masse en gramme de la prise d'essai et de la capsule après séchage NF V03-702(1981).

### III.3. Poids de mille grains

#### ➤ Principe

Déterminer la masse de mille grains d'un échantillon de blé donne des indications sur le mode d'élaboration du rendement. Son principe repose sur la pesée d'une quantité de l'échantillon, séparation et pesée des grains entiers. Comptage des grains entiers et par règle de trois, obtention de la masse de 1000 grains (JO n° 01 – 2013).

#### ➤ Mode opératoire

- Compter les grains entiers ensuite à l'aide du compteur de grains ou, à défaut de compteur, faire un comptage manuel. Les grains de céréales habituellement non vêtus doivent être, le cas échéant, débarrassés de leur enveloppe florale ;
- Sélectionner les grains entiers et les peser (JO n° 01 – 2013).

#### ➤ Expression des résultats

Un blé ayant un PMG qui se situe :

- Entre 24 et 34 g renferme de petits grains ;
- Entre 35 et 45 g renferme des grains moyens (GODON et WILLM, 1998).

### III.4. Les impuretés

#### ➤ Principe

Le tamisage est une opération qui consiste à séparer les grains selon leurs tailles afin d'éliminer les impuretés. Il est effectué par un tamiseur mécanique ou manuellement de façon à reproduire le tamisage mécanique (FEILLET, 2000).

#### ➤ Mode opératoire

- Mélanger avec soin l'échantillon pour laboratoire afin de le rendre aussi homogène que possible ;
- Procéder si nécessaire à sa réduction à l'aide d'un diviseur, jusqu'à l'obtention d'une quantité d'environ de 01 kg ;
- Peser l'échantillon pour essai ainsi obtenue et le mettre dans le récipient plat ;
- Noter toute odeur particulière ou étrangère à celle de la céréale, ainsi que la présence d'insectes et d'acariens vivants ;
- Emboîter les tamis de 3,55mm, 1,9mm, 1,00 mm ainsi que le réceptacle puis la prise d'essais (100g) sur le tamis de 3,55mm et mettre le couvercle
- Agiter manuellement pendant 45 secondes avec un mouvement de vas et vient parallèle au sens des fentes, en gardant les tamis dans un plan horizontal (FEILLET, 2000).

➤ **Expression des résultats**

- Peser le contenu de chaque coupelle ;
- Calculer le pourcentage de chaque catégorie par rapport à la masse de la prise d'essais ;
- Additionner les pourcentages des impuretés grains d'une part, et des impuretés diverses d'autre part. Les exprimer avec une seule décimale ;
- Les pourcentages des catégories se calculent de manière identique (AZIEZ et *al.*, 2003)

$$\text{Impuretés \%} = \text{Pi} \times 100 / \text{M}$$

**M** : La masse de la prise d'essai.

**Pi** : Poids des impuretés.

#### **IV. Analyses physico-chimiques effectuées sur la farine de blé**

##### **IV.1. Détermination de l'humidité**

➤ **Principe**

Séchage d'une prise d'essai à une température comprise entre 130 et 133°C, à pression atmosphérique normale permettant d'obtenir un résultat identique de la méthode de référence de la détermination de la teneur en eau (N.A.735-1990 (I.S.O. 5531).

➤ **Mode opératoire :**

- Les capsules sont d'abord pesées à vide ;
- Prise d'essai d'une quantité de 5g de l'échantillon de farine dans la capsule préalablement séchée et tarée ;
- Effectuer le séchage, la capsule ouverte contenant la prise d'essai est placée avec son couvercle dans l'étuve à une température comprise entre 130° et 133°C pendant 90 minutes ;
- Remettre le couvercle à la capsule avant de la placer dans le dessiccateur pendant 15 minutes (il faut laisser de l'espace entre les capsules dans le dessiccateur) ;
- Peser la capsule ;
- Etablir deux essaies pour chaque échantillon (N.A.735-1990 (I.S.O. 5531).

➤ **Expression des résultats**

$$\text{TH \%} = \frac{(p1+5)-p2}{p0} \times 100$$

**TH %** : Taux d'humidité.

**P0** : Masse en gramme de la prise d'essai.

**P1** : Masse en gramme de la prise d'essai et de la capsule avant séchage.

**P2** : Masse en gramme de la prise d'essai et de la capsule après séchage.

#### IV.2. Détermination du taux d'affleurement

##### ➤ Principe

La détermination du taux d'affleurement est appliquée par la méthode décrite par ISO-NA20801 (1992), à l'aide d'un plansichter doté d'un tamis dont la garniture a une ouverture de maille égale à 200 microns pour les farines panifiables.

##### ➤ Mode opératoire

- Agiter dans des tamis, dont l'ouverture des mailles est correctement choisie pendant cinq minutes, une prise d'essai de 100g de farine préalablement préparée ;
- L'agitation peut être manuelle ou mécanique ;
- Peser ce qui resté sur le tamis ;
- Les tamis les plus couramment utilisés sont en gaze renforcée, en acier étamé ou en bronze. Ouverture des mailles des tamis utilisés pour la farine : 200  $\mu\text{m}$ , 180  $\mu\text{m}$ , 160  $\mu\text{m}$ , 140  $\mu\text{m}$  et 125  $\mu\text{m}$  (par ordre décroissant) (ISO-NA20801, 1992).

##### ➤ Expression des résultats

La masse de refus obtenu est pesée et exprimée en pourcentage.

#### IV.3. Le taux de cendre

##### ➤ Principe

La détermination des cendres a été réalisée par incinération d'une prise d'essai dans une atmosphère oxydante, à une température de  $900^{\circ}\text{C} \pm 25^{\circ}\text{C}$  jusqu'à combustion complète de la matière organique, et pesée du résidu obtenu (N.A.733-1990(I.S.O.2171).

##### ➤ Mode opératoire

- Les creusées sont rincées à l'eau distillée puis séchée ;
- Une pré-incinération des creusées est nécessaire à une température de  $900^{\circ}\text{C}$  pendant cinq minutes suivi d'un refroidissement dans un dessiccateur à plaque métallique contenant de l'anhydride phosphorique ou autre déshydratant efficace ;
- Prise d'essai nous pesons une quantité de 2g de farine dans la creusée préalablement séchée et tarée ;
- Ajouter quelques gouttes d'alcool sur les extrémités des creusées ;

- Pré incinération du produit : placer les creusées et leurs contenus à l'entrée du four préalablement chauffé à température d'incinération jusqu'à ce que la matière s'enflamme ;
- Incinération : attendre que le produit ait fini de brûler puis introduire les creusées à l'intérieur du four à moufle.
- Fermer la porte du four ;
- Poursuivre l'incinération jusqu'à combustion complète de la totalité du produit y compris les particules charbonneuses contenues dans le résidu ;
- Après remontée du four à 900°C, l'incinération prend une heure ;
- Une fois l'incinération terminée, retirer les creusées du four et laisser refroidir dans le dessiccateur à plaque métallique contenant un agent déshydratant efficace ; Dès que les creusées ont atteint la température ambiante (soit 15 à 20 minutes), peser rapidement en raison du caractère hygroscopique des cendres (N.A.733-1990(I.S.O.2171)).

### ➤ Expression des résultats

$$\text{Matière telle quelle} = \frac{p_2 - p_1}{2a_2} \times 100$$

$$\text{Matière sèche} = \frac{\text{matière telle quelle}}{100 - \text{humidité}} \times 100$$

**P1** : Poids initial des creusées.

**P2** : Poids des creusées après la fournée.

## V. Analyses technologiques

### V.1. L'indice de chute

#### ➤ Principe

L'estimation de l'activité  $\alpha$ -amylasique fait en utilisant l'amidon présent dans l'échantillon comme substrat. La détermination est basée sur la capacité de gélatinisation rapide d'une suspension aqueuse de farine, dans un bain d'eau bouillante, et sur la mesure de la liquéfaction de l'empois d'amidon par l' $\alpha$ -amylase présente dans l'échantillon (Bard, 1997).

#### ➤ Mode opératoire

- Détermine la teneur en eau de la farine avant d'effectuer la prise d'essai.
- Déterminer le poids de la prise d'essai.
- Déterminer le poids de la prise d'essai à l'aide du tableau indiquant les valeurs de l'humidité, Le bain-marie est remplie d'eau distillé jusqu'à 2ou 3 cm du bord

supérieur, est porté à ébullition pendant toute la durée de l'essai dans le tube viscosimétrique contenant la prise d'essai ;

- Introduire 25ml d'eau distillée à l'aide de la pipette. Avec le bouchon de caoutchouc on ferme le tube pour pouvoir agiter vigoureusement à la main afin obtenir une suspension uniforme et homogène ;
- Ouvrir le tube et en raclant les parois les traces de la farine restantes sont entraînées, dans la suspension ;
- Déposer par la suite le tube dans le compteur automatique qu'il touche le bas du fond du bain-marie.
- Fixer le tube et son bouchon à l'aide d'une attache tournante.
- Après 5 secondes à partir de l'immersion du tube, des agitations sont signalées, chacune correspondant à un mouvement descendant ;
- Après un temps de 60 secondes, l'agitateur sera libéré, le déclenchement du compteur automatique relevé le temps total en secondes.

### ➤ **Expression des résultats**

Le temps total en secondes à partir de l'immersion du tube viscosimétrique dans le bain-marie, jusqu'à ce que ce soit enfoncé complètement dans la suspension gélatinisée, représente le temps de chute.

Les résultats sont exprimés comme suit :

- Indice < 180 secondes : l'activité est hyper-diastatique, farine impropre à la panification (Beaucoup de grains germés, le pain présente une mie collante) ;
- Indice 180 - 260 secondes : indique une activité amylasique optimale ;
- Indice > 300 secondes : l'activité est hypo-diastatique, une correction nécessaire par addition d'amylase (BARD, 1997).

## **V.2. Teneur en gluten**

### ➤ **Principe**

Le Gluten est dosé après séparation manuelle de l'amidon, en pétrissant une petite quantité de pâte sous un filet d'eau. L'amidon est peu à peu entraîné par l'eau et il ne reste finalement qu'une masse compacte blanc crème, souple, extensible, et très élastique (GUINARD et LESJEAN, 2004).

➤ **Mode opératoire**

- Confection du pâton :

Introduire dans un mortier une prise d'essai de 10 g de farine(P0) à délayer avec 5.5 ml de solution Na Cl à 2% en s'aidant de la spatule de façon à obtenir un pâton homogène qui au bout de 2 – 3 mn de pétrissage ;

- Séparation, lavage et essorage du gluten :

Malaxer le pâton avec les doigts et le pétrir sous un mince filet discontinu d'eau dure en le plaçant au-dessus d'un tamis pour retenir les fragments de gluten éventuellement entraînés. L'amidon est éliminé et le gluten se soude à lui-même. Pour laver le gluten on augmente le débit d'eau dure, le lavage est terminé lorsque l'eau qui s'écoule n'est plus blanche ;

- Pesée du gluten humide :

Essorer le gluten en le comprimant fortement à plusieurs reprises entre les paumes des deux mains. Disposer le gluten ainsi essoré sur une plaque métallique préalablement enduit d'une très légère couche de vaseline. Peser, on obtient alors le poids du gluten humide (P1) (N .A.735-1990 (I.S.O. 5531).

➤ **Expression des résultats**

La teneur en gluten humide (GH) est exprimée en pourcentage de la fraction massique de l'échantillon initial :

$$\mathbf{GH (\%) = \frac{P1}{P0} \times 100}$$

- Pesée du gluten sec :

Le principe du dosage du gluten sec repose sur le séchage ou l'élimination de la fraction d'eau présente dans le gluten humide à l'aide des plaques chauffantes. Laisser les plaques chauffantes atteindre la température de service, prendre la boule de gluten humide obtenue par la méthode spécifiée précédemment, et la mettre entre les plaques chauffantes préchauffées, pendant 5s. Enlever le gluten séché (P2) des plaques chauffantes et le peser (N.A.736-1990(I.S.O.6645).

➤ **Expression des résultats**

La teneur en gluten sec (GS) est exprimée en pourcentage de la fraction massique de l'échantillon initial :

$$\mathbf{GS (\%) = \frac{P2}{P0} \times 100}$$

### V.3. Détermination de la force boulangerie (Test à l'alvéographe CHOPIN)

#### ➤ Principe

Le principe de la mesure alvéographique 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 au moins volumineuse selon son extensibilité et éclate (NA.1188/ 1990).

#### ➤ Mode opératoire

Ce test est fait dans des conditions de température et d'hygrométrie spécifiques et aussi très importante pour la réussite de cette analyse. C'est en effet pendant cette période que les chaînes de protéines finissent de s'organiser.

- Confection de la pâte :

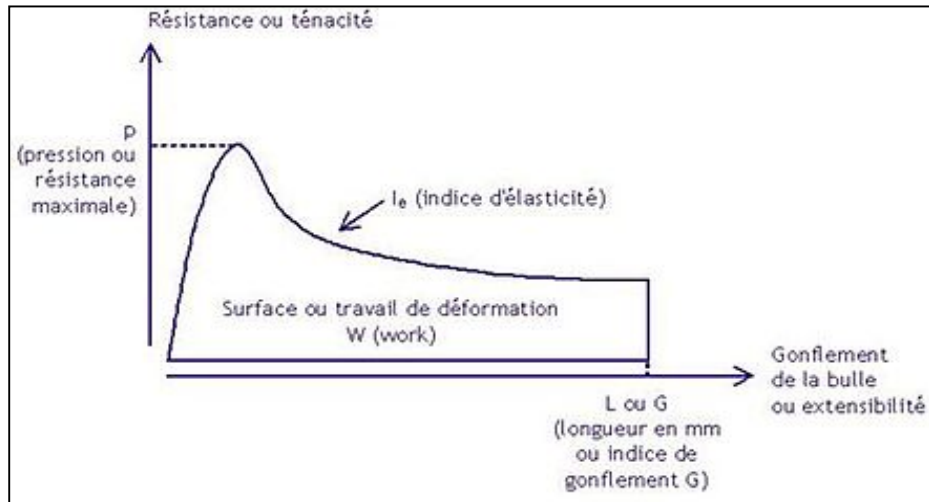
Dans le mini-pétrin intégré à l'alvéographe, introduire une quantité de 250g de farine à délayer avec de l'eau salée préalablement préparée à 2.5 % de Na Cl. Cette eau est rajoutée en fonction de l'humidité de la farine à analyser ;

- Extraction et formation des pâtons :

La séquence comporte une minute de pétrissage suivie d'une minute de pétrissage manuel qui permet de s'assurer que toute la farine participe bien à l'hydratation, puis de six minutes de pétrissage supplémentaires dans des conditions rigoureuses standardisées et imposées par la norme et l'appareillage (NA.1188/ 1990). A la fin de cette période, inverser le sens de rotation du friseur (l'élément pétrisseur) de manière à pousser la pâte au travers d'une fenêtre calibrée qui permet de déterminer l'épaisseur du pâton. Au fur et à mesure de leur extraction, cinq pâtons sont coupés, laminés, découpés en cercle à l'aide d'un emporte-pièce spécifique afin d'obtenir des pâtons rigoureusement identiques et déposés en chambre de repos ;

- Essai à l'alvéographe

Cette étape consiste à déposer le pâton sur la partie Alvéographique et à l'écraser avec une vitesse définie afin de lui donner une épaisseur définie. Le pâton est ensuite gonflé par un flux d'air calibré pendant que le système enregistre l'évolution de la pression à l'intérieur de la bulle en fonction du temps, jusqu'à la rupture du film de pâte. Cette opération est répétée sur les cinq échantillons de pâtons (CHOPIN, 1920).



**Figure 19** : Courbe alvéographique avec indication des différents paramètres mesurés (ROUSSEL, 2009).

### ➤ Expression des résultats

La lecture d'un alvéogramme (Figure 19) se fait à travers les paramètres évalués suivants :

- **La force boulangère « W »** représente le travail de déformation de la pâte jusqu'à la rupture et exprime la force de la farine, W s'exprime en  $10^{-4}$  Joules. BERLAND et ROUSSEL (2005) classent les farines en fonction du « W » :  
 $W < 150$  : force boulangère insuffisante ;  
 $150 < W < 180$  : force boulangère moyenne ;  
 $180 < W < 220$  : bonne force boulangère ;  
 $W \geq 220$  : force boulangère élevée.
- **L'indice de gonflement « G »** est un critère de la qualité des farines (COLLAS, 1991). Il renseigne sur l'extensibilité des pâtes et permet d'apprécier l'aptitude du réseau de gluten à retenir le gaz carbonique (GODON et LOISEL, 1997).
- **La hauteur « P »** correspond à la pression maximale, exprimée en millimètres, enregistrée avant que le disque commence à gonfler, il est en relation avec la ténacité de la pâte ;
- **La longueur « L »**, mesurée en millimètres, correspond au gonflement maximum de la bulle est en rapport avec l'extensibilité de la pâte ;
- **Rapport de configuration « P/L »** : Le rapport de configuration P/L traduit l'équilibre général de l'alvéogramme c'est-à-dire l'équilibre de ténacité et d'extensibilité des pâtes formées (DUBOIS, 1996). Les farines qui ont un P/L

supérieur à 1 donneront des pâtes trop tenaces, peu tolérantes au pétrissage et montreront une tendance à absorber beaucoup d'eau, ainsi qu'un faible gonflement. Alors que pour P/L inférieur à 0,3 les pâtes seront trop extensibles et difficile à manier (DELFRATE et STEPHAN, 2005).

### V.4. L'essai de panification

Ce test est réalisé au niveau d'une boulangerie.

#### ➤ Principe

Le boulanger d'essai n'a pas pour but de faire du bon pain, mais de suivre rigoureusement le processus décrit dans la norme NFV 03-716 et de noter les caractéristiques de la pâte et du pain à chaque étape (les annexes). Le relevé précis des caractéristiques de la pâte (pétrissage, pointage, façonnage, apprêt, mise au four) et du pain (aspect du pain, volume, aspect de la mie) au cours du test.

#### ➤ Mode opératoire

Les pains ont été préparés selon la méthode officielle AACC (1995), appelée méthode de la pâte droite avec quelques modifications. La recette de préparation des pains à partir de la farine de 100 % blé tendre et la farine à différents taux de son de 5% ,10% ,15% et 20%.

- Les ingrédients ont été soigneusement malaxés (farine, eau, sel, levure, acide ascorbique, malte et alpha-amylase) dans un pétrin à une vitesse lente pendant cinq minutes, puis à vitesse rapide pendant 5 minutes ;
- Après le pétrissage, la pâte est laissée au repos pendant 25 minutes ;
- Diviser la pâte en pâtons de 100 g arrondi à la main et laisser au repos pour une détente de 25 min, après la détente on a fait la mise en forme des pâtons suivi d'une fermentation de 90 minutes à 30 °C dans une chambre de fermentation ;
- La cuisson des pains est réalisée à 220 °C pendant 20 minutes dans un four électrique.

#### ➤ Expression des résultats

La qualité boulangère est appréciée à chaque étape de fabrication du pain, du pétrissage jusqu'à l'observation du pain cuit et de la mie.

- Appréciation de la pâte consiste à étudier certains critères de la pâte, tel que l'aspect, la forme, la texture, l'élasticité et l'extensibilité, du pétrissage jusqu'à la cuisson ;
- Appréciation du pain consiste à étudier ses caractéristiques organoleptiques (l'aspect de la croûte, la mie, la couleur, coup de lame ainsi que la flaveur).

- Témoignage d'un médecin gastroentérologue sur la colopathie.

### VI. Analyse sensorielle

#### ➤ Principe

Selon la norme française NF ISO 5492 l'analyse sensorielle est définie comme étant « l'examen des propriétés organoleptiques d'un produit par les organes des sens ». Elle repose sur l'organisation de séances d'évaluation avec un panel, où les sujets ont un niveau de connaissance de l'univers produit et/ou de la méthode employée plus ou moins développé en fonction de la tâche à réaliser (STONE et SIDEL, 2004).

#### ➤ Mode opératoire

Une journée de dégustation a été organisée au niveau de laboratoire de l'unité E.R.I.A.D Tadmaït sous lumière blanche.

- Les échantillons de pains préparés à la boulangerie ont été jugés par cinq personnes composés du personnel de la boulangerie et du laboratoire ;
- Les participants étaient invités à éviter les termes hédoniques et à ne pas générer plusieurs termes dans la description sensorielle. Enfin, ils étaient invités à goûter les cinq échantillons des pains issus de la farine témoin et les farines mélangées au son à différent taux (5%, 10%, 15%, 20%), et décrire les caractéristiques sensorielles permettant de faire des différences entre ces échantillons en se basant sur six critères sensoriels (tableau XVI) ;
- Un questionnaire sera à la disposition de chaque participant ;
- Le pain sera présenté en tranche et le sujet peut les goûter autant de fois qu'il le souhaite. Les participants avaient pour instruction de ne consommer aucun aliment ou aucune boisson avant l'épreuve ;
- Les participants pouvaient se rincer la bouche après chaque dégustation avec de l'eau ;
- Le classement se fait individuellement sans communication entre les sujets, pour ne pas biaiser les résultats.

**Tableau XVI :** Vocabulaire ou descripteurs sensoriels pour le pain (ALLESANDRIN, A., DESMONT, M, 2007).

Aspect		Odeur	Couleur
<b>Croûte</b> lisse, brillante, mâte, tailles marquées, crevassée, craquelée, dorée, brune	<b>Mie</b> alvéolée, compacte, aérée, serrée, blanche, jaune, grise	Normale, parfumée, prononcée, marquante, sucré, levure,	<b>Croûte</b> Normal, dorée, rougeâtre, argileuse, terne  <b>Mie</b> blanche, beige, crème, plus crémée, marron, marron foncé.
Consistance et texture		Saveur	
<b>Croûte</b> craquante, croustillante, molle, friable, fine, épaisse, cassante	<b>Mie</b> moelleuse, collante, élastique, souple, flexible, friable, dure, dense, légère, granuleuse, farineuse, pâteuse	agréable/désagréable, savoureux, fade, salé, grillé, doux, riche, complexe, frais, acide, amer, épicé, sucré, parfumé, beurré, farineux, fondant	



## Résultats et discussions

## I. Résultats de l'agrégage de blé

L'agrégage est une étape primordiale dans le processus de fabrication car en dépend de ses résultats que va être accepté ou refusé la mise en production d'un lot (AZIEZ et al., 2003). Les résultats de ce contrôle sont mentionnés dans le tableau XVII.

**Tableau XVII** : les résultats d'agrégage de blé obtenus.

Critères	Résultats	Normes (la norme ISO 11051)
Poids spécifique en Kg/hl	80,30	<b>72 - 82Kg/hl</b>
Humidité (%)	12,7	<b>18%</b>
Poids de 1000 grains (m.s) en g	43,8	<b>De 35 à 55gr</b>
Impuretés diverses (%)	1,3	<b>1%</b>
Grains cassés (%)	0	<b>2%</b>
Grains germés	0	<b>2%</b>
Grains échaudés	1	<b>5%</b>
TOTAL IMPURETES, (%) =	2,3	<b>3%</b>

### ➤ Le poids spécifique - Poids à l'Hectolitre(PHL)

Selon Soltner (2005), le poids spécifique est un élément de qualité qui dépend :

- De l'humidité (plus le grain est sec plus son PS augmente) ;
- De la bonne nutrition durant la maturation (les grains échaudés sont moins présents) ;
- De la propreté de la récolte (les déchets plus légers diminuent la densité).

D'après (le tableau XVII), la valeur du poids spécifique du blé tendre réceptionné à l'unité E.R.I.A.D Tadmait est de 80,30 Kg/hl. Ces résultats sont compris dans la fourchette proposée par CLAVEL (1996) qui est de 72-82 kg/hl, ce sont des blés de masse élevée, dite lourd et de bonne valeur meunière. Le PS correspond aussi à l'intervalle du journal algérien n°32/1988 égale ou supérieure à 72 kg/hl pour qu'il soit considéré comme sain, loyal et marchand. D'après MAHAUT (1996), plus le PS est élevé plus le rapport amande/enveloppe est élevé et par conséquent, le rendement en farine est élevé.

### ➤ Le poids milles grains

Les valeurs du poids mille grains (PMG) est de 43,8g. Selon GODON et WILLM (1998), un blé ayant un PMG situé entre 24 et 34g est composé de petits grains et entre 35 et 45g il renferme des grains moyens. On peut constater que d'après le paramètre PMG, le blé approvisionné est dans la plupart des grains moyens.

Le PMG est généralement peu maîtrisable, car il est fortement lié aux effets de l'environnement au moment de la formation et du remplissage du grain. Un manque d'eau après floraison combiné aux températures élevées entraîne une diminution du PMG par altération de la vitesse et/ou de la durée de remplissage ce qui se traduit par l'échaudage des grains (ROYO *et al*, 2000).

Ces deux paramètres PS et PMG sont corrélés positivement au taux d'extraction de la farine. Ils sont considérés comme un indicateur de la valeur meunière en relation avec le rapport enveloppe sur amande. Plus le poids à l'hectolitre est élevé, plus le rapport enveloppes sur amande est faible et le rendement meunier important.

### ➤ **L'humidité**

En meunerie la détermination de l'humidité des grains est une opération capitale qui permet une humidification des grains de blé et qui est indispensable avant la mise en mouture pour faciliter la séparation du son et de l'amande.

Les résultats de l'humidité du blé tendre sont représentés dans le tableau XX. La valeur de l'humidité est de 12,7% ; cette valeur est conforme à la norme algérienne qui préconise un pourcentage de 14,50 % au maximum. D'après DUBOIS et LEYENS (1994), l'humidité des grains est généralement comprise entre 12 à 14% si ces derniers ont été cultivés dans de bonnes conditions agro-climatiques avant leur stockage en silos. La différence d'humidité d'un échantillon à un autre peut être attribuée aux conditions climatiques, à la région de culture, et aux conditions de stockage.

### ➤ **Impuretés**

La connaissance du taux d'impuretés et leur nature est intéressante, car elles provoquent un réel risque pour la minoterie et le produit fini. La nature des impuretés varie avec les lots de blé et leurs origines. Un lot de blé idéal pour la meunerie ne devrait être constitué que de grains de l'espèce, propres, sains et secs (MACHEIX, 1996).

Les résultats du tableau XVII montrent que la moyenne des valeurs d'impuretés est de 2,3% qui est une valeur faible inférieure à 3%, ces résultats sont conformes à la norme. Ce qui influe sur le rendement de la production positivement ainsi que la qualité technologique des lots de blé et l'aspect du produit fini (farines). Selon BAR (2001), Ces paramètres sont généralement liés au produit à la collecte et sa mise en conformité avant le stockage (nettoyage et triage), sauf que l'accumulation de la poussière dans les locaux de stockage favorise le développement d'insectes et des moisissures.

Notamment au niveau de la minoterie d'E.R.I.A.D Tamdait des opérations de désinsectisation, dératisation et désinfection se font trois fois par année :

- Mois d'avril : traitement de choc
- Mois d'aout : traitement d'entretien
- Mois d'octobre : traitement d'entretien

Ce type d'opérations sont portantes pour diminuer le taux d'impuretés et les résultats sont conformes à la norme.

## II. Résultats des analyses physico-chimiques des farines

Les résultats des analyses physico-chimiques sont regroupés dans le tableau XXIII.

**Tableau XVIII :** Résultats des analyses physico-chimiques des farines à différents taux de son.

Produits	Humidité en (%)	Taux de cendre en (%)	
		Matière telle quelle	Matière sèche
<b>Farine témoin</b>	14,6 %	0,39	0,45
<b>Son</b>	13 %	3,86	4,48
<b>Mélange à 5% de son</b>	14,3 %	0,54	0,63
<b>Mélange à 10%</b>	14 %	0,76	0,88
<b>Mélange à 15%</b>	13,9 %	0,9625	1,13
<b>Mélange 20%</b>	13,7 %	1,07	1,25

### ➤ Humidité des farines

Les valeurs du taux d'humidité des farines analysées (tableau XVIII), varient entre 13,7% et 14,6 %, sont conformes à la norme algérienne (15,5% max).

Ces valeurs peuvent être le reflet d'un bon déroulement de l'étape de conditionnement de blé tendre nettoyé. Dans d'autre cas le taux d'humidité peut assurer une bonne qualité technologique des farines ainsi leur bonne conservation. D'après la norme Algérienne N.A.735-1990 (I.S.O. 5531), il est exigé que la teneur en eau d'une farine panifiable soit inférieure ou égal à 15,5%. La détermination du taux d'humidité est primordiale, puisqu'elle

conditionne d'une part la précision des divers résultats analytiques rapportés à la matière sèche et d'autre part celle de la mise en œuvre des tests technologiques, tel l'essai à l'alvéographe et celui de la panification (GODON et *al*, 1997).

Au-delà de 16 % et si la température est élevée, il y a risque de fermentation et développement de moisissures qui donnent à la farine un goût désagréable (DUBOIS et LEYENS, 1994).

### ➤ Taux de cendres

Les farines commercialisées sont réglementairement classées d'après leur taux de cendre. La quantité de cendres (ou de minéraux) est proportionnelle à la quantité de son présent à l'intérieur de la farine. Cette méthode est simple et rapide puisque les minéraux sont concentrés dans le son (PETERSON et FULSHER, 2002)

Les taux de cendre des farines analysées varient entre 0,45 % et 1,25 %. Selon la classification de GODON et WILLM (1998) décrite dans le tableau XVIII :

- Le taux de cendre est < 0,50% désigne une farine supérieure de type 45 c'est le cas de la farine de production. DELPHINE (2006), a noté qu'une teneur en cendres inférieur à 0,60%, permet à la fois de garantir une bonne valeur technologique mais également d'offrir des propriétés organoleptiques appréciées des consommateurs
- Le taux de cendre qui varie entre 0,62 et 0,75% est du type T65 désigne le mélange de farine à 5% de son.
- Le taux de cendre qui varie entre 0,75 et 0,90% est du type T80 désigne le mélange de farine à 10% de son.
- Le taux de cendre qui varie entre 1 et 1,20% est du type T110 désigne les mélanges de farine à 15% et 20 % de son.

### III. Résultats des analyses technologiques

Les résultats technologiques et rhéologiques des différents échantillons de farine sont mentionnés dans le tableau suivant.

Tableau XIX : Bulletin des analyses technologiques des différentes farines.

Produit	Taux d'affleurement (en %)	Indice de chute ( en seconde)	Gluten humide (en %)	Gluten sec (en %)
Farine de production (témoin)	0,53	314	31,70	10,56
Mélange à 5%	1,07	378	30,11	10,03
Mélange à 10%	3,36	382	28,94	9,51
Mélange à 15%	11,3	/	26,94	8,98
Mélange à 20%	14,65	/	25,36	8,45

➤ **Taux d'affleurement**

La granulométrie d'une farine permet de caractériser la répartition en taille et en nombre des particules dont elle est composée, le comportement des farines au cours de leur transformation (FEILLET, 2000). La norme AFNOR (1982), fixe pour une farine courante un taux de refus au tamis, inférieur à 10%.

D'après les résultats obtenus et mentionnés dans le tableau XIX, le taux de refus de la farine de production et les mélanges à 5%,10% de son varient entre 0.53% et 3.36%, ce qui concorde à la norme précédemment cité contrairement aux farines à 15% et 20% de son ou le taux de refus dépasse les 10%. Cela est dû aux quantités élevées de son, dont les dimensions dépassent la taille des mailles du tamis, contenues dans les mélanges de farine et de son.

➤ **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 (GODON et *al*, 1997).

Les moyennes des valeurs d'indice de chute des différentes farines analysées, varient entre 314 s et 382s (tableau XIX).

Selon BARD (1997), l'activité  $\alpha$ - amylasique doit être optimum pour la panification :

- Indice < 180 secondes : l'activité est hyper-diastasique, farine impropre à la panification (Beaucoup de grains germés, le pain présente une mie collante).
- Indice 180 - 260 secondes : indique une activité amylasique optimale.

- Indice > 300 secondes : l'activité est hypo-diaستاسique, une correction nécessaire par addition d'amylase.

Les résultats obtenus pour la farine de production et les mélanges dont y a incorporation de son à des taux de 5% et 10% montrent que les farines présentent un défaut d'activité amylasique, se sont des farines hypo diastasiques avec un indice de chute qui varie entre 314 et 382 secondes, Les farines hypo diastasiques nécessite des corrections à l'échelle technologique pour régler l'activité amylasique soit par adjonction de farine malté riches en amylase ou par des coupages avec des farines hyperdiastasiques. Il reste à noter que le manque d'enzymes d'hydrolyse d'amidon retarde la fermentation de la pâte, ces qualités fermentatives sont fonctions de la richesse en sucre et de l'équilibre enzymatique des farines.

En revanche, les farines mélangées à 15% et 20% de son, l'indice de chute n'est pas connu, au cours du test on a remarqué qu'il ne y avait pas de gélatinisation d'amidon, cela est peut-être dû à la teneur élevée en enveloppes dans ces farines.

### ➤ La teneur en gluten humide et sec

Sur le plan technologique le gluten détermine en grande partie les caractéristiques rhéologiques de la farine. La quantité et la qualité du gluten sont responsables des propriétés viscoélastiques de la pâte. Il est blanc crème, très élastique et a une odeur agréable. Après séchage, il conserve sa couleur et augmente de volume (BAGHOUS, 1998).

Les résultats obtenus montrent que les teneurs du GH et le GS des différentes farines appartiennent à l'intervalle préconisé en boulangerie.

La force de la farine est décrite selon son gluten humide, les farines qui présentent des teneurs en gluten humide supérieur à 26% sont orientées vers la panification, les farines usuelles ont des teneurs de l'ordre de 27 à 37% (UGRINOVITS *et al.*, 2003).

D'après DUBOIS (1996), une farine panifiable doit posséder une teneur en gluten sec entre 8 et 12%. Pour la farine témoin et les différents mélanges à 5, 10, 15, 20% de son, la teneur en gluten sec concorde avec la norme. Les résultats mentionnés dans le tableau XIX, montrent que le taux de son est inversement proportionnel à la teneur en gluten sec. Cela est dû à la baisse de quantité de farine et l'accroissement des particules de son lors de la préparation des mélanges à différents taux. BORNET (1992) indique que les farines qui contiennent du son se caractérisent par une richesse nutritionnelle en particulier les sels minéraux magnésium, zinc, fer et cuivre, que la farine blanche, elles sont pauvres en gluten donc plus digeste. Cependant, les fibres alimentaires stimuleraient la motilité gastro-intestinale due à leur capacité d'absorption d'eau et à l'augmentation de la viscosité du contenu intestinal (REHMAN *et al.*, 2003).

➤ **Caractéristiques alvéographiques**

On estime que le travail de déformation de la pâte nécessaire à la création d'une bulle dans le test d'alvéographe, peut être considéré comme le modèle de ce qui se passe en boulangerie lors de la formation des alvéoles sous l'action du gaz carbonique dégagé au cours de la fermentation panair (BOUDREAU et MENARD, 1992).

Les résultats de l'essai à l'alvéographe sont regroupés dans le tableau XX.

**Tableau XX** : Résultats du test de l'alvéographe de CHOPIN.

Caractéristiques	Force boulangère (W) 10 <sup>-4</sup> j	Gonflement (G)	Ténacité (P)	Elasticité (L)	Rapport P/L
<b>Farine de production (témoin)</b>	205	18.6	75.02	70	1.07
<b>Mélange à 5 % de son</b>	190	14.08	92.62	41	2.03
<b>Mélange à 10 % de son</b>	165	13.7	119.2	38	3.1
<b>Mélange à 15 % de son</b>	/	/	/	/	/
<b>Mélange à 20 % de son</b>	/	/	/	/	/

\*Les alvéogrammes obtenus se trouvent en annexe

Selon ROSSEL et CHIRON, (2005) et les résultats mentionnés dans le tableau XX, les différents échantillons de farine peuvent-être classés selon leur force boulangère en deux catégories :

Une bonne force boulangère se traduit par un travail (W) qui varie entre 180 et 220, c'est le cas des farines de production (témoin) et le mélange farine à 5% de son.

Une force boulangère moyenne se traduit par un travail (W) qui varie entre : 150 < W < 180, désigne la farine mélangée au son à un taux de 10%.

Les résultats obtenus des analyses alvéographiques pour les différentes farines ont montrés que plus le pourcentage du son augmente plus la ténacité de la pâte augmente et de l'autre partie le travail (W) ou la force boulangère. Le gonflement (G) et l'élasticité (L)

diminuent, cela est dû à la forte présence des particules de son dans la farine qui favorisent sa déchirure et son mauvais développement.

Selon les résultats illustrés dans le (tableau XX), le rapport « P/L » évolue en fonction de l'ajout du taux de son, selon PENA et *al.*, (2005), les farines qui ont un « P/L » élevé (supérieur à 1) donneront des pâtes trop tenaces, peu tolérante au pétrissage et absorbe beaucoup d'eau, ainsi qu'un faible gonflement.

Pour ce qui concerne les alvéogrammes des mélanges de farine à 15% et 20% de son, on a pas pu les avoirs au-delà de 10% parce que la pâte devient de plus en plus hétérogène alors, la ténacité se gradue fortement et on ne peut même pas introduire de l'air à l'aide la poire, la pâte se déchire directement au début de l'opération.

### ➤ **Résultat du test de panification**

Le test de panification est un test direct d'appréciation de la qualité des farines, il permet aussi de s'assurer d'une façon générale de sa valeur boulangère et d'apporter un jugement objectif sur la farine testée, la pâte et le produit fini (le pain).

### ➤ **Appréciation de la pâte**

**Tableau XXI** : Quantité d'eau ajoutée durant le pétrissage pour 1kg des différentes farines.

<b>Farine</b>	<b>Quantité d'eau à ajouter en (ml)</b>
Farine de production	600
Mélange à 5%	610
Mélange à 10%	620
Mélange à 15%	630
Mélange à 20%	660

Les résultats du tableau XXI montrent que la quantité d'eau ajoutée à la farine durant le pétrissage est proportionnelle au pourcentage du son, cela est dû à l'absorption de l'eau par les particules de son qui sont riches en fibres alimentaires. Dans une pâte, environ 20 % de l'eau est associée aux arabinoxylanes (ROUAU, 1996). Une teneur élevée de ces polysaccharides favoriserait donc une forte absorption d'eau par les farines durant le pétrissage de la pâte à pain augmente aussi en fonction de la teneur en amidon et en protéines (LINEBACK et RASPER, 1988).

Les résultats obtenus au cours de la panification, mentionnés dans le tableau XIV montrent que la pâte et les pâtons issues de la farine de production représentent les caractéristiques souhaitées par les boulangers pour une bonne pâte bien pétrie (pâte élastique, extensible, ne relâche pas et un bon lissage ainsi que les pâtons étaient ronds et qui restent ferme après façonnage).

RODIONOVA et *al.*, (1992) ont expliqué que les arabinoxylanes affectent aussi les propriétés rhéologiques de la pâte, soit sa résistance à l'étirement et sa viscosité. Les résultats obtenus de l'appréciation des pâtes confirment donc plus le taux de son augmente plus la pâte perd ses qualités et devient un peu plus collante, moins élastique et plus rude au toucher, même chose pour les pâtons deviennent plus plats et plus crouvés.

**Tableau XXII :** Résultats de l'appréciation des pâtes.

Appréciation des pâtes	Après pétrissage	Après pointage	Après façonnage	Après 2eme fermentation	Mise au four
<b>Farine de production</b>	- Normal - Extensible - Elastique - Ne relâche - Pas Bien lisse	Pâton rond	Reste ferme	Pâton rond	Pâte normale
<b>Mélange à 5%</b>	- Un peu collante. - Peu extensible - Peu élastique - Léger relâchement - Lisse mais pas totalement	pâton rond	Reste ferme	Pâton rond	Pâte normale
<b>Mélange à 10%</b>	- Collante - Peu tenace - Relâchant - Un peu rude au toucher	Pâton rond	Un peu relâche	Le pâton devient un peu plat	Pâte légèrement croucée
<b>Mélange à 15%</b>	- Plus collante - Tenace et terreuse - Plus relâchant - Mauvais lissage	Pâton plat non poreux	Relâche	Pâton plat	Pâton croucé
<b>Mélange à 20%</b>	-Très collante - Cassante - Très relâchant -Très mauvais lissage.	Pâton plat non poreux	Relâche	Pâton plat	Pâte dure

\*Ces étapes sont illustrées dans l'annexe.

➤ **Appréciation des pains**

Les pains préparés à partir de farine 100% blé (pains témoins) et farines composées optimales ont été jugés sur leur texture, goût, couleur, croûte, mie et leur acceptabilité globale. Les résultats de l'analyse sensorielle du pain mentionnés dans le tableau XXIII traduisent la moyenne des réponses obtenues lors de la dégustation.

**Tableau XXIII** : Résultats de l'appréciation des pains obtenus (analyse sensorielle)

Les pains obtenus	Aspect de la croûte	Couleur du pain	Finesse de la croûte	Coups de lame	Aspect de la mie		Flaveur (odeur et saveur)
					Couleur	texture	
Pain issu de la farine	Ronde	Normal	Craquante	Régulier	Blanche	Aérée	Légère
Pain issu du mélange à 5%	Ronde	Normal	Croustillante	Régulier	Crème	Aérée	Parfumée
Pain issu du mélange à 10%	Légèrement plate	Un peu terne	Croustillante	Peu déchirés	Plus crémée	Légèrement serrée	Parfumée
Pain issu du mélange à 15%	Plate	Terne	Un peu dure	Déchirés	Marron	Serrée	Prononcée
Pain issu du mélange à 20%	Plus plate	Argileuse	Dure	Déchirés	Marron plus foncé	Très bonne	Marquante



**Figure 26** : Aspect de la mie et du pain fait à partir de la farine de panification (pain témoin) (Redmi note 7 caméra, 3000x4000pixel).



**Figure 27 :** Aspect de la mie et du pain fait à partir de la farine issue du mélange à 5% (Redmi note 7 caméra, 3000x4000pixel).



**Figure28 :** Aspect de la mie et du pain fait à partir de la farine issue du mélange à 10% (Redmi note 7 caméra, 3000x4000pixel).



**Figure 29** : Aspect de la mie et du pain fait à partir de la farine issue du mélange à 15% (Redmi note 7 caméra, 3000x4000pixel).



**Figure 30** : Aspect de la mie et du pain fait à partir de la farine issue du mélange à 20% (Redmi note 7 caméra, 3000x4000pixel).

Tableau XXIV : Valeurs des pesées des pains.

Produit	Pesée en (g)			
	Avant cuisson	Après cuisson	1h après	2h après
Farine	350	290	285	280,45
Mélange à 5%	350	300	286	280,5
Mélange à 10%	350	270	260.5	258
Mélange à 15%	350	260	249	243
Mélange à 20%	350	260	256	253

D'après les résultats illustrés dans les figures (26, 27, 28, 29, 30) et obtenus de l'analyse sensorielle mentionnés dans le tableau XXIII on constate que :

Les pains obtenus de la farine de panification (témoin) étaient d'une bonne odeur et saveur, plus on augmentait le pourcentage plus l'odeur devient marquante

Les pains issus de farine témoin et du mélange à 5% ont des sections rond et développées avec une mie aérée, cela peut être traduit par des farines d'une forte force boulangère (ROSSEL, 2010). A partir de 10% on observe une différence, les sections deviennent de plus en plus plate et moins développées avec une mie peu aérée voir, serrée, les pains paraissent peu développés, maigre. Cela peut se traduire par un manque de gaz carbonique qui traduit une mauvaise fermentation ou une fermentation insuffisante, la capacité d'absorption d'eau, dans un pain riche en fibres, le gluten ne serait pas suffisamment hydraté pour se développer de façon optimale à un niveau « normal » d'absorption d'eau parce qu'il entrerait en compétition avec le son ce qui diminuerait le volume du pain (LAI et *al.*, 1989).

Les résultats du tableau XXIV montrent qu'après cuisson nos pains issus de l'essai témoin et de mélanges à 5%,10%, 15% de son perdent de leurs poids, qui est un phénomène connu dans la fabrication du pain, cela est dû à l'évaporation de l'eau et du gaz carbonique pendant cette période de ressuage. Mais à 20% le pain ne perd pas beaucoup de son poids par rapport aux précédentes ce qui explique la rétention des gaz par sa mie, qui est très serrée et sa

croûte qui est très dure alors ces deux caractéristiques empêchent l'eau et le CO<sub>2</sub> de s'évaporer.

La couleur de la croûte des pains obtenus passe d'une couleur blanche (cas de pains issus de la farine témoin) à une couleur de plus en plus terne pour le reste des pains, (GODON, 2005) a attribué la coloration de la croûte des pains aux réactions de Maillard qui font intervenir les sucres simples et les acides aminés.

Selon CALVEL (1964), les pains pâles sont dus à des farines pauvres en sucres simples et en diastase dû à un taux d'extraction faible, et des pains rouges sont dus par la présence en excès des sucres simples obtenus par un excès d'amidon endommagé et une forte activité amylasique et un taux d'extraction plus élevée.

D'après les résultats obtenus on constate que la coloration de la mie des différents pains varie d'une couleur blanche vers une couleur marronne.

### ➤ **Témoignage du médecin sur la colopathie**

En raison de la crise sanitaire qui a touché tout le pays, on n'a pas pu joindre les malades atteints de colopathie afin d'intégrer nos différents échantillons de pains dans leur régime alimentaire pour définir le pain diététique recherché. Pour cela on s'est dirigé vers un médecin gastroentérologue qui se nomme IKHLEF Zineb et travaille à la clinique Slimana, pour témoigner à propos de cette maladie. Son témoignage se résume :

L'alimentation moderne est souvent pauvre en fibres d'où un ralentissement du transit et l'apparition de pathologies comme la constipation.

La consommation régulière de pain complet semble préférable. Mais les pains trop riches en son ne sont pas bons pour tous car ils augmentent les déperditions en minéraux et peuvent irriter la muqueuse intestinale.

Réduire sa consommation de gluten ne peut qu'optimiser la santé générale, dans la mesure où cela contribue à limiter les risques d'atteinte de la muqueuse intestinale. Cette dernière assure une fonction clé de protection car elle sert de barrière afin d'empêcher les molécules nocives pour l'organisme. Cette réduction doit s'intégrer dans une hygiène alimentaire globale.

Les résultats d'analyse des patients atteints de colopathie révèlent que la consommation des pains riches en fibre à base de farine mélangé au son, peut moduler positivement le microbiome intestinal.

Lorsqu'il s'agit du SCI, les individus doivent gérer avec soin leur consommation de fibres. Trop de fibres provoquent la diarrhée, ballonnements, gaz en revanche pas assez

provoque la constipation, il faut consommer une quantité adéquate de fibre. Le besoin de ce dernier recommandé est de 25 à 35g par jour.

Le gaz produit par les fibres est nécessaire pour stimuler les muscles du colon, mais également pour aider amollir les selles.

### Conclusion

Selon les travaux faits sur les apports notionnels et sur l'alimentation diététique, les régimes pauvres en fibres et spécialement en fibres cellulosiques peuvent être à l'origine de certaines maladies et troubles digestifs.

L'objectif de notre étude est de déterminer les caractéristiques physico-chimiques et technologiques des farines panifiables obtenues de la minoterie d'E.R.I.A.D Tadmait ainsi que l'incorporation du son à la farine à différents taux (5%,10% ,15% et 20%) pour but de palier à l'insuffisance en fibre chez cette catégorie de malades.

Les résultats des analyses physiques du blé réceptionné permettent de tirer les conclusions suivantes :

- Le résultat du poids spécifique obtenu a montré que le blé est lourd.
- Le poids de 1000 grains a montré que le blé est constitué de grains moyens.
- Le résultat de la teneur en eau du blé permet une conservation correcte.

Les analyses d'une farine permettent de prédire son aptitude à la seconde transformation, les résultats des analyses physico-chimiques et technologiques des farines mélangées au son à différent taux ont permis de tirer les conclusions suivantes :

- Le taux d'humidité des farines est conforme aux normes.
- L'augmentation du son dans la farine fait augmenter le taux d'affleurement sa teneur en cendre, cette dernière a permis de classer les farines en différents catégories : type 45, type 65, type 80 et type 110.
- L'indice de chute montre que nos échantillons présentent une activité hypo-diastatique ce qui nécessite l'addition de l'amylase.
- Sur le plan qualitatif et quantitatif, le gluten obtenu est fort et concorde aux normes.
- Les analyses rhéologiques indiquent par ailleurs que plus la teneur de son augmente plus il y a diminution globale de la force boulangère (ténacité, extensibilité et gonflement) qui se manifeste par un développement insuffisant du pain.
- Les résultats des essais de panification indiquent cependant une augmentation du pouvoir d'absorption d'eau de la pâte, paramètre pour lequel les boulangers sont très sensibles mais entre-temps il influe sur la pâte et la rend collante et relâchante, la texture intérieure du pain devient très serrée et son aspect extérieur devient pâle et sa croûte plus dure.

Le son est utilisé sous des formes diverses dans des produits variés afin d'améliorer le transit intestinal. Ce sont ces teneurs élevées en cellulose et hémicellulose, la présence de

lignines et d'autres composés phénoliques qui donnent au son ses propriétés de fibres alimentaires peu fermenté dans le colon.

Malgré l'attrait d'une augmentation significative de la teneur en son dans le pain qui puisse répondre à la demande des malades atteints de colopathie, les essais qui ont été menés dans cette contribution montre que le taux de 10% d'incorporation de son au pain représente le seuil technologique limitant. Pour dépasser cette valeur d'autres études doivent être réalisées, il n'y a dans ce cas pas de limite aux efforts à entreprendre pour venir à bout de cette maladie.

En général, cette étude a permis de démontrer que l'incorporation du son de blé dans une farine de blé fait augmenter sa valeur nutritionnelle et améliore le changement des propriétés rhéologiques des pains.

### Références bibliographiques

- ❖ AACC., (2000) Approved Methods: 08-12; 10-10B; 32-40; 44-15A; 54-21; 55-30; 56-81B et 66-20. St. Paul, MN: American Association of Cereal Chemists.
- ❖ AFNOR, 1991. Recueil de normes –contrôle de la qualité des produits alimentaires : céréales et produits céréaliers. AFNOR/DGCC RF. 3<sup>ème</sup> édition. Paris.360p.
- ❖ Arrêté du 23 Février 2012 rendant obligatoire une méthode de détermination de la masse de 1000 grains dans les céréales et les légumineuses. (JO n° 01 – 2013).
- ❖ Arrêté du 06 Février 2012 rendant obligatoire une méthode de détermination de la teneur en eau dans les céréales et produits céréaliers. (JO n° 08 – 2013).
- ❖ ALAIS C., LINDEN G. et MICLO L. (2008). Biochimie alimentaire, Dunod 6<sup>ème</sup>édition. Paris. pp: 86-88.
- ❖ ALLESSANDRIN A., DESMONT, M.H., (2007). Rapport Final, Qualités des blés biologiques et qualités nutritionnelles et organoleptique des pains biologiques.
- ❖ ANTOINE C., LULLIEN PELLERIN V., ABECASSIS J., et ROUAU X., (2002). Nutritional interest of the wheat seed aleurone layer. Sciences des Aliments. 22, pp. 10.
- ❖ AZIEZ M., HAMMADOUCHE S., (2003). Le guide pratique de l'agréeur céréales et légumineuses alimentaires. Direction du laboratoire national de l'OAIC, Algérie, 58 p.
- ❖ BAGHOUS F., (1998). Relation entre les sous unités gluténines et les caractéristiques technologiques intrinsèques des blés tendres cultivés en Algérie. Thèse de magistère, INA, El-Harrach, Algérie, 126p.
- ❖ BENAMROUCHE, S., CRONIER, D., DEBEIRE, P., et CHABBERT, B. (2002). A chemical and histological study on the effect of beta-endo-xylanase treatment on wheat bran. Cereal Science. 36 (2), pp. 7.
- ❖ BENBELKACEM F., SALDI A., BRINIS. (1995). La recherche pour la qualité des blés en Algérie., Séminaire de blé dans la région méditerranéenne, N° 22.
- ❖ BENSEDDIK. B et BENABDELLI K., (2000). Impact du risque climatique sur le rendement du blé dur en zone semi-aride. Approche éco- physiologique, Sécheresse, Vol. 11, N° 1, (2000), pp. 45-51.
- ❖ BOURDEAU A et MENARD G., (1992). Le blé : éléments fondamentaux et transformation. 1st Ed. Canada : Les presses Université Laval.
- ❖ BOURSON Y., (2009). "Mouture du blé tendre et techniques d'obtention de la farine," Ed. Techniques Ingénieur.
- ❖ BORNET F., (1992). Cahiers de nutrition et diététique, vol 27, Num 3, pp 170 – 178.

- ❖ BONJEAN A., (2001). Histoire de la culture des céréales et en particulier celle de blé tendre (*Triticum aestivum*) Dossier de l'environnement de l'INRA, N°21 :29-37.
- ❖ BOUBEKEUR MANAL, (2020), thème « processus de fabrication de la farine à partir du blé tendre et contrôle de qualité » du département de Technologie chimique industrielle de l'université Akli Mohand Oulhadj- Bouira.
- ❖ BOUKARBOUA A., et BOULKROUN M, (2016). Appréciation de la qualité technologique des farines commerciales par des tests indirects, Université des Frères Mentouri Constantine.
- ❖ CALVEL R., (1980). La boulangerie moderne.
- ❖ CALVEL R., (1964) : que sais-je ? Le pain. Paris : presses universitaires de France.
- ❖ CALVEL R., (1984) : la boulangerie moderne, Ed ; EGROLLE. France, p459.
- ❖ CHAPLIN M., (2004). Water Structure and Behavior. London South Bank University. London, Angleterre.
- ❖ CHELLALI B, (2007). "Marché mondial des céréales : L'Algérie assure sa sécurité alimentaire
- ❖ CHEFTEL (J.C.), (1977). Introduction à la Biochimie et à la Technologie des aliments. Lavoisier, Paris., P. 105-142
- ❖ CHEFTEL, J.-C., CHEFTEL, H., et BESANÇON., P. (1984). Introduction à la biochimie et de la technologie des aliments : volume 2 : Technique et Documentation- Lavoisier
- ❖ COLAS A., (1991) : Définition de la qualité des farines pour différent utilisations en industrie de première transformation des céréales, Ed .Tec et doc, Lavoisier. Paris.
- ❖ COLAS A., (1997) : dosage des cendres et matière minérale. In guide pratique d'analyse dans les industries des céréales. Ed ; Tec et Doc, Lavoisier, paris.
- ❖ DACOSTA Y., (1986). Le gluten de blé et ses applications. 19-29p.
- ❖ DJERMOUN., (2009). La production céréalière en Algérie : principales caractéristiques, Revue Nature et Science.
- ❖ DOUSSINAULT G., Kaan F., Lecomte C. et Monneveux P, (1992). Les céréales à paille : présentation générale. Ed : Gallais A. et Bannerot H., Amélioration des espèces végétales cultivées. Ed. INRA, Paris, pp. 13- 21.
- ❖ DOUMANDJI A. DOUMANDJI S et DOUMANDJI, B, M (2003) : Technologie de transformation des blés et problèmes dus aux insectes en stock. Ed, office des publications universitaires. p129

- ❖ DUBOIS., (1996) : les farines : caractéristiques des farines et des pâtes. In : industries des céréales. N°97. Ed : Lavoisier. Paris.
- ❖ FAO., (1992). Manuels sur le contrôle de la qualité des produits alimentaires, Assurance de la qualité dans le laboratoire d'analyse microbiologique des aliments, Rome
- ❖ FAO., (2007). Perspective alimentaires. Analyse des marchés mondiales.
- ❖ FEILLET P., (2000). "Le grain de blé : composition et utilisation alimentaire : céréales et produits céréaliers. Ed. AFNOR.
- ❖ FEILLET P., (1984). The biochemical basis of pasta cooking quality. Its consequences for durum wheat breeders. Science Alimentaire N° 4. pp. 551 - 566.
- ❖ FEILLET P., (1986). L'industrie des pâtes alimentaires : Technologies de fabrication, qualité des produits finis et des matières premières. Industrie Agric. Aliment. N°103. pp. 979 – 989.
- ❖ FELDMAN M., (1966) : Identification of unpaired chromosomes in F1 hybrids involving *Triticum aestivum* and *T. timopheevii*. Can J Genet Cytol 1966, 8:144-151.
- ❖ FREDOT E., (2012). Connaissance des aliments : bases alimentaires et nutritionnelles de la diététique. 396p (Lavoisier Ed. 2ème Ed.: Tec et Doc.
- ❖ GODON B., (1982). Valeur meunière et boulangère des blés tendres et de leurs farines. Conservation et stockage des grains et graines et produits dérivés: céréales, oléagineux, protéagineux, aliments pour animaux/coordonnateur, JL Multon; préface, E. David.
- ❖ GODON B., (1991). Composition biochimique des céréales, pp : 77-94. In : les industries de première transformation des céréales. Godon B. et Will M.C. Lavoisier Tec et Doc.Paris, 221.
- ❖ GODON B., (1995). Le pain. Pour la science. Dossier hors-série de mars (science et gastronomie), p.p.16-25.
- ❖ GODON B et WILLM, C., (1998). "Les industries de première transformation des céréales."
- ❖ GRANDVOINET P., et PRATAX B. (1994). Farines et mixes. La panification française GODON B. Tec et Doc. Lavoisier. Paris
- ❖ GUINARD et LESJEAN., 2004. Biochimie végétale. 2ème éd, Paris, Dunod.
- ❖ HASSAN, E.G., AWADALKARIM et MUSTAFA, A.M. (2012). Effect of fermentation and particle size of wheat bran on the antinutritional factors and bread quality. Pakistan Journal of Nutrition, 7, pp. 5.

- ❖ HENRY et BUYSER., (2001). L'origine des blés. In : Belin. Pour la science (Ed). De la graine à la plante. Ed. Belin, Paris, pp, 69-72.
- ❖ JOEL ABECASSIS et Jacques-Éric Bergez(2009). Les filières céréalières, Edition quae
- ❖ JAVED M., ZAHOOR S., SHAFAT S., MEHMOODA I., (2012). Wheat bran as a brown gold: Nutritious value and its biotechnological applications. African Journal of Microbiology.
- ❖ JEAN-MARIE, Sincich., 2004. Effet de l'environnement sur la composition de grain de blé, institut de l'élevage.
- ❖ JEANT R., CROGUENNEC, T., SCHUCK, P., et BRULE, G. (2007). "Science des aliments : biochimie, microbiologie, procédés, produits. Technologie des produits alimentaires, Editions Tec & Doc
- ❖ KATINA K., CHIRON, H., REQUERRE, A.L., et DELLA, G., (2001). Influence of wheat bran on wheat dough rheology and subsequent texture of bread. Food Science technology, 39, pp. 12.
- ❖ LAUNAY B et BARTOLUCCI, J, C (1997) : teste de panification In guide pratique d'analyse dans les industries des céréales. Collection science et technique agroalimentaire. 2ème Ed : Tec et Doc : Lavoisier. Paris
- ❖ LAI C.S., HOSENEY, R.C., & DAVIS, A.B. (1989) Effects of wheat bran in breadmaking. Cereal Chemistry, 66 (3), 217-219
- ❖ LERY F., 1982. L'agriculture au Maghreb ou pour une agronomie méditerranéenne. Ed. Maisonneuve et Larose, Paris, 338 p
- ❖ LESLIE JACQUEMIN., 2012. Production d'hémicellulose de pailles et de son de blé à une échelle pilote, étude de performance technique et évaluation environnementale d'un agro-procédé.
- ❖ MAURICE BORDEAU., (1935). Le bulletin EFM numéro 38, page 90 – 94.
- ❖ MEREDITH., (1964): a theory of gluten structure, cereals science today p54.
- ❖ Norme algérienne N.A.1188-1990 (I.S.O. 5530-04) : Caractéristiques alvéographiques moyennes pour la panification
- ❖ Norme algérienne N .A.735-1990 (I.S.O. 5531) : détermination du gluten humide.
- ❖ Norme algérienne N.A.736-1990(I.S.O.6645) : détermination du gluten Sec.
- ❖ Norme algérienne N.A.733-1990(I.S.O.2171) : détermination des cendres.

- ❖ NURET H., (1991). Partie IV : les techniques de moutures. La mouture de blé tendre. In : GODON B., WILM C, Ed, les industries de premières transformation des céréales, 333 – 361. , " Editions Tec & Doc, Paris.
- ❖ OSBORNE T., (1924). The vegetables proteins 2nd edition. Longmans, Green & Co edition London, England, pp 154
- ❖ PAUL C., (2007). Céréales et alimentation : une approche globale Agriculture Environnement Alimentation et Céréales-INRA 07, pp 1-4.
- ❖ PENA E., BERNARDO A., SOLER C., JOUVE N., (2005). Relationship between common wheat (*Triticum aestivum*) gluten proteins and dough rheological properties. Euphytica, vol. 143, p.p. 169-177
- ❖ PICHE T, DAPOIGNY M, BOUTELOUP C, CHASSAGNE P, COFFIN B, DESFOURNEAUX V, et Gastroenterol Clin Biol. 2007;31(2):125–35.
- ❖ POMERANZ Y., (1988). Chemical composition of kernel structures. In: Wheat: chemistry and technology. 1st Ed. pp. 97-158
- ❖ ROUSSEL P (1980) : caractéristiques boulangères des blés : industries des céréales.
- ❖ ROUSSEL P., LOISEL W., (2009). Test de laboratoire. In: GODON B., LOISEL W., (1997). Guide pratique d'analyse dans les industries des céréales. Ed. Tec et Doc. Lavoisier, APRIA, 479 p
- ❖ ROUSSEL P et CHIRION H (2005) : les pains français : évolution, qualité, production science et technologie des métiers de bouche, ISSM 1297-2606.
- ❖ SHEWRY PR, PIRONEN, NURMI T., 2010. Agricultural research institute of the Hungarian academy of science.
- ❖ SLAMA A., Ben Salem, M., Ben Naceur, M., et Zid, E. (2005). Les céréales en Tunisie: production, effet de la sécheresse et mécanismes de résistance. Institut national de la recherche agronomique de Tunisie (Inrat). Université Elmanar. Tunisie, P62.
- ❖ SURGET A. et BARRON C., (2005). Histologie du grain de blé. Industrie des céréales, n.145, pp.4-7
- ❖ SCOTTI G. et Mont J., (1997) : analyse physique des grains des blés tendre et blé dur ; in : guide pratique d'analyses dans les industries des céréales. Ed.Tec & Doc LAVOISIER. Paris, pp.79-110.
- ❖ TALAMALIL., (2000). La libération du marché des céréales en Algérie office algérien interprofessionnel des céréales OAIC Acte du premier symposium international sur la Filière blé, Alger, Algérie, P.11- 18.

- ❖ UGRINOVITS M.S., ARRIGONI E., DOSSENBACH A., HABERLI G., HANICH H., J. SCHWERZENBACH J., RICHEMONT L, 2004). Céréales, Produits de L'industrie Meunière, Prémélanges pour four, Mélanges de Farines Instantanées. Manuel suisse des denrées alimentaires. Chapitre, 14 : 19.
- ❖ VENSEL W.H., TANAKA, C.K., CAIN, N., Wong, J.H., BUCHANAN, B.B., HURKMAN W.J., (2005). Developmental changes in the metabolic protein profiles of wheat endosperm. *Proteomics* 5, 1594-1611.
- ❖ WILLM C., (2001) : étude d'un diagramme 200t/24h pour blé tendre. Industries des céréales N°123 juin/juillet 2001.
- ❖ ZEITOUN., (2011). Procédés de fractionnement de la matière végétale-application à la production des polysaccharides du son et de paille de blé. Thèse de doctorat de l'université de Toulouse.

### Références Webiographiques

- ❖ American College of Gastroenterology IBS Task Force. An Evidence-Based Position Statement on the Management of Irritable Bowel Syndrome. The American Journal of Gastroenterology [en ligne]. January 2009, Vol. 104, Issue S1-S35. : <http://www.nature.com/ajg/journal/v104/n1s/index.html>.
- ❖ CHELLALI B. 2007. Marché mondial des céréales : L'Algérie assure sa sécurité alimentaire. <http://www.lemaghreb.dz.com/admin/folder01/une.pdf>.
- ❖ F.A.O.STAT. (2008). FAO agricultural statistics . Rome, Italy: Food and Agriculture Organization of the United Nations. ( <http://faostat.fao.org> ).
- ❖ Institute of Medicine (2001) Dietary Reference Intakes Proposed Definition of Dietary Fiber. Food and Nutrition Board. The National Academy of Sciences. Washington, D.C.: pp. 1-64. <http://www.nap.edu/openbook/0309075645/html>.
- ❖ Piche T. Dapoigny M. et *al.* Recommendations for the clinical management and treatment of chronic constipation in adults. Gastroentérologie Clinique et Biologique [en ligne]. Février 2007, Vol. 31(2), 125-35 p : <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/17347618>.

# **Annexes**

## Liste des appareils utilisés

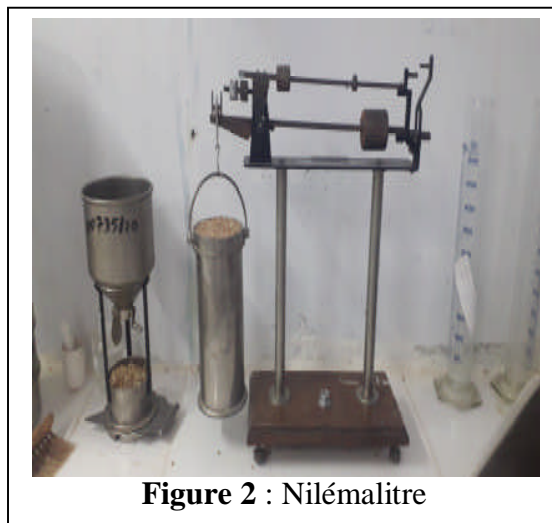
Analyse	Appareillages
<b>Le poids spécifique (poids à l'hectolitre (PHL))</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Niléalitre</li> <li>• Balance électronique</li> </ul>
<b>Poids de mille grain</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Balance de précision</li> <li>• Appareil automatique NUMIGRAL</li> </ul>
<b>Taux d'humidité</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Broyeur (cas de blé)</li> <li>• Dessiccateur à plaque métallique contenant de l'anhydride phosphorique ou autre déshydratant efficace.</li> <li>• Etuve</li> <li>• Capsules en métal</li> <li>• Pince métallique</li> </ul>
<b>Taux d'affleurement</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Balance analytique</li> <li>• Planshister</li> </ul>
<b>Taux de cendre</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Balance analytique</li> <li>• Creusées en porcelaine ou en quartz.</li> <li>• Four à Moufle.</li> <li>• Pince en acier inoxydable.</li> <li>• Pipette graduée.</li> </ul> <p>Dessiccateur à plaque métallique contenant un agent déshydratant efficace</p>
<b>Indice de chute</b>	<p>Un bain-marie, équipé d'un couvercle muni d'un support de tubes viscosi-métriques, et d'un réfrigérant pour réduire l'échappement de la vapeur d'eau.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Une plaque électrique chauffante.</li> <li>• Un agitateur viscométrique de précision, en</li> </ul>

	<p>verre spécial métallique.</p> <ul style="list-style-type: none"><li>• Des tubes spéciaux en verre.</li><li>• Des bouchons en caoutchouc pour les tubes viscométriques.</li><li>• Pipette de 25 ml <math>\pm</math> 0,2 ml.</li><li>• Compteur automatique.</li><li>• Balance de précision.</li></ul>
<b>Teneur en gluten</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Mortier en porcelaine</li><li>• Burette de 10ml</li><li>• Spatule</li><li>• Balance analytique</li><li>• Les plaques chauffantes / glutork</li></ul>
<b>Test d'alvéographe de CHOPIN</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Alvéographe de CHOPIN</li><li>• Balance analytique.</li><li>• Entonnoir.</li><li>• Burette graduée</li></ul>
<b>Test de panification</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Pétrin</li><li>• Coupe pate</li><li>• Lame</li><li>• Four</li></ul>
<b>Analyse sensorielle</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Une fourchette</li><li>• Une serviette</li><li>• Un verre d'eau, pour rincer la bouche entre les dégustations</li><li>• Récipient rempli de poudre de café (quand l'odorat sature le sujet est invité à humer le récipient remplie de poudre de café)</li><li>• Le questionnaire associé à l'épreuve</li></ul>

## 1. Les appareils utilisés lors de l'analyse physico-chimique des grains de blé tendre



**Figure 1 : Etuve**



**Figure 2 : Nilémalitre**



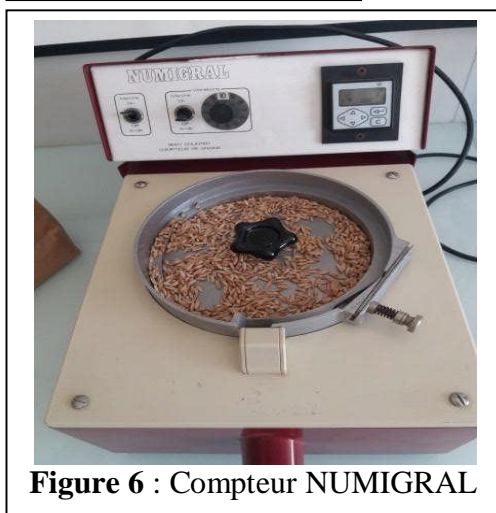
**Figure 3 : Dessiccateur**



**Figure 4 : Balance électronique**



**Figure 5 : Broyeur**



**Figure 6 : Compteur NUMIGRAL**

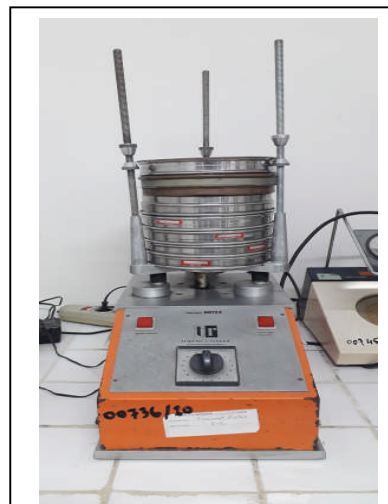


**Figure 7 : Tamis manuel**

## 2. Les appareils utilisés lors des analyses physico-chimiques des farines



**Figure 8 :** Analyseur de temps de chute d'Hagberg



**Figure 9 :** Planchister



**Figure 10 :** Balance analytique



**Figure 11 :** Four à moufle



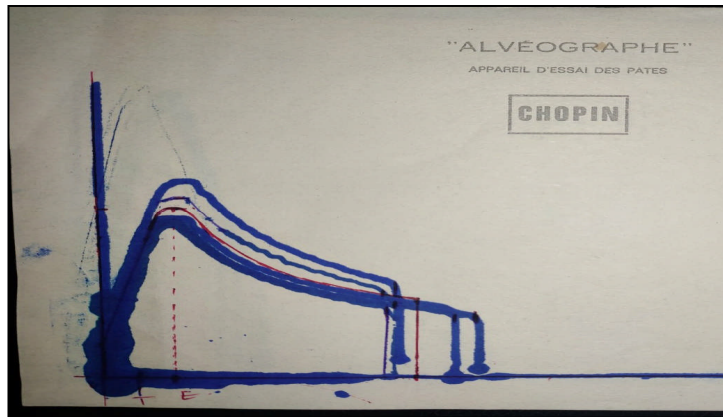
**Figure 12 :** Glutork

### 3. Les étapes de panification du pain

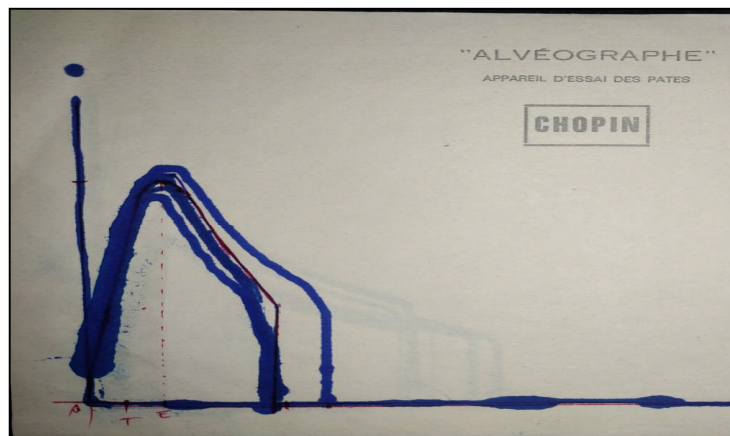


**Figure 13 :** Les étapes de panification des différents pains issus des différentes farines.

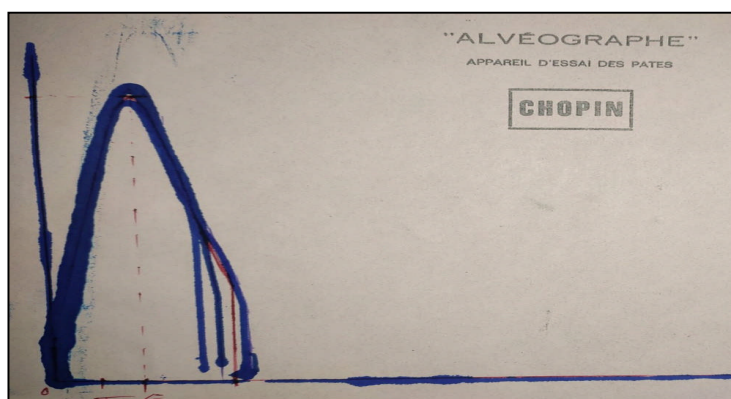
#### 4. Les alvéogrammes



Alvéogramme de la farine de production



Alvéogramme du mélange de farine à 5% de son



Alvéogramme du mélange de farine à 10% de son

## 5. L'analyse sensorielle des différents pains



**Figure 14 :** Les photos prises lors de l'analyse sensorielle des pains issus des différentes farines (Redmi note 7 caméras, 3000x4000px).

## Questionnaire

Veillez nous préciser :

Homme       Femme

Moins de 30 ans       30 à 40 ans       40 à 50 ans       plus de 50 ans

Consommez vous du bio :       Au moins 1 fois/semaine       Au moins 1 fois/mois       Jamais

Nous testons actuellement des variétés de pains pour mieux satisfaire vos attentes. Nous vous proposons de déguster cinq différents échantillons de pains et de nous donner votre avis sur leur qualité gustative. Nous vous serons reconnaissants de bien vouloir déguster cinq différents échantillons de pains de remplir le tableau selon les descripteurs sensoriels proposés.

Les pains obtenus	Aspect de la croûte	Couleur du pain	Finesse de la croûte	Coups de lame	Aspect de la mie		Flaveur (odeur et saveur)
					Couleur	texture	
Pain issu de la farine							
Pain issu du mélange à 5%							
Pain issu du mélange à 10%							
Pain issu du mélange à 15%							
Pain issu du mélange à 20%							

Le vocabulaire sensoriel proposé :

Aspect		Odeur	Couleur
<b>Croûte</b> lisse, brillante, mâte, tailles marquées, crevassée, craquelée, dorée, brune	<b>Mie</b> alvéolée, compacte, aérée, serrée, blanche, jaune, grise	Normale, parfumée, prononcée, marquante, sucré, levure,	<b>Croûte</b> Normal, dorée, rougeâtre, argileuse, terne  <b>Mie</b> blanche, beige, crème, plus crémée, marron, marron foncé
Consistance et texture		Saveur	
<b>Croûte</b> craquante, croustillante, molle, friable, fine, épaisse, cassante	<b>Mie</b> moelleuse, collante, élastique, souple, flexible, friable, dure, dense, légère, granuleuse, farineuse, pâteuse	agréable/désagréable, savoureux, fade, salé, grillé, doux, riche, complexe, frais, acide, amer, épicé, sucré, parfumé, beurré, farineux, fondant	

## **Résumé**

La présente étude a été conduite au niveau du moulin ERIAD TADMAIT, son rôle consiste à approvisionner la population en farine saine répondant aux normes de nutrition à l'échelle internationale et en qualité suffisante. C'est dans ce contexte que s'inscrit notre projet de fin d'étude qui s'intitule « Processus de fabrication, évaluation de la qualité technologique des farines de blé tendre et essai d'élaboration d'un pain diététique au son ».

En premier temps des généralités sur le blé tendre, le son et la colopathie ont été mis en évidence. Ensuite on a décrit le procédé de fabrication de la farine à partir du blé tendre. Enfin, les analyses physico-chimiques et technologiques de nos cinq différents échantillons, qu'on a effectués au laboratoire d'analyse ainsi que l'analyse sensorielle du produit fini réalisé chez un boulanger, sont détaillés et les résultats trouvés ont été discutés.

**Mots clés :** blé tendre, farine, procédé de transformation, contrôle de qualité, son, colopathie.

## **Abstract**

The present study was conducted at the ERIAD TADMAIT mill. Its role is to supply the population with healthy flour that meets international nutrition standards and is of sufficient quality. It is in this context that our end-of-study project entitled "Manufacturing process and assessment of the technological quality of soft wheat flours and trial of a dietary bran bread intended for patients suffering from colopathy" was carried out.

Firstly, general information on soft wheat, bran and colopathy was provided. Then the process of flour production from soft wheat was described. Finally, the physico-chemical and technological analyses of our five different samples, which were carried out in the analysis laboratory, as well as the sensory analysis of the finished product carried out at a baker's, are detailed and the results found were discussed.

**Key words:** soft wheat, flour, processing, quality control, bran, colopathy.