

**République Algérienne Démocratique et Populaire**  
**Ministère de l'Enseignement Supérieur et la Recherche Scientifique**  
**Université de Blida 1**



**Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie**  
**Département des Sciences Alimentaires**

Mémoire de fin d'étude en vue de l'obtention du diplôme de Master

**Spécialité :** Agro-Alimentaire et Contrôle de Qualité

**Filière :** Sciences Alimentaires

**Domaine :** Sciences de la Nature et de la Vie

*Thème*

**Détermination des propriétés physico-chimiques et organoleptiques des  
cookies élaborés à partir de farines de blé et d'orge**

**Présenté par : M<sup>lle</sup>. Bounabi Zineb**

**Mr. Bouzid Oussama**

**M<sup>lle</sup>. Yahiaoui Djouher**

**Soutenu le 14 /07/2022 devant le jury composé de :**

**Présidente Mme. AOUES K. MCA à l'Université Blida 1**

**Examineur Mr. BOUGHERRA F. MCB à l'Université Blida 1**

**Promotrice Mme. AIT CHAUCHE F.S. MCB à l'Université Blida 1**

**Année Universitaire 2021-2022**

## **Remerciements**

*Tout d'abord, le premier remerciement à ALLAH le tout puissant, clément et miséricordieux de nous voire doté d'une forte volonté et d'un courage pour réaliser ce travail qui constitue l'aboutissement de bon nombre d'années d'efforts et de sacrifices.*

*Nous exprimons toute notre gratitude a maître de conférences B à l'université Blida 1 et l'encadreur de cette mémoire Dr. Ait Chaouche F.S. pour sa disponibilité et surtout ses judicieux, qui ont contribué à alimenter nos réflexions.*

*Un grand merci au groupe de contrôle de qualité du BIMO Baba Ali et au professeur Yesli de l'école ESSAIA pour leur aide dans ce travail.*

*Nous tenons aussi à remercier Madame AOUES K, Maître de conférences B à l'Université de Blida 1, d'avoir accepté d'honorer la présidence du jury.*

*Un grand remerciement à Monsieur. BOUGHERRA F., Maître de conférences B à l'Université de Blida 1e, pour avoir bien voulu examiner ce travail et être membre de jury.*

*Enfin, nous remercions tous ceux et celles qui nous encouragent dans nos études de puis le primaire jusqu'à la dernière année universitaire.*

## *Dédicace*

*Je dédie ce modeste travail accompagné d'un profond amour*

*A mon cher papa « Saïd » qui m'appris le sens de la persévérance tout au long de mes études, pour ses sacrifices conseils et ses encouragements, je t'aime trop mon héros papa.*

*A ma chère maman « Mazhoura », je lui dédie avec fierté ce mémoire qui reflète le fruit de l'éducation et de l'attention qu'elle m'a tant réservé, je suis très reconnaissante et j'aurais tant aimé la joie de ma réussite avec elle.*

*A mes chers frères, Mouhamed et Abd Er Rafik, vous êtes ma force dans la vie.*

*A mes meilleures amies : Moufida, Rayene, Marwa, Farah, Chahinez, Kawthar, Ryma, Rihabe.*

*A Bouzide Oussama et Bounabi Zineb avants d'être mes trinômes vousêtes mes meilleures amies je vous remercie à votre travail et vos soutiens.*

*Je dédie à Abde Slem et Hakim bimo*

*Et enfin, je dédie à moi-même pour ma réussite et ma patience et à mon endurance pour accomplir ce travail.*

*Yahiaoui DJouher*

## *Dédicace*

*Je dédie ce travail à*

*Mes parents, la raison de mon existence et de ma  
réussite après mon Allah tout puissant.*

*Moi-même qui ai résisté malgré toutes les difficultés*

*Mon petit frère Yacine*

*Mes neveux, douaa, Mohamed et Ismail et la petite  
Rym.*

*Mes chers amis : Fella, Sara, Imen, Youssra,  
Nessrine, Rania, Hayat, Amira, Hidayet, Nissoume,  
Rimi et Randa, Marwa, Leila, Manel, Hanane,  
Djouher, Schaib et Oussama.*

*Bounabi Zineb*

# DEDICACE

*Avec un énorme plaisir. Un cœur ouvert et une immense joie.*

*Je dédie ce travail tout d'abord mes chers magnifiques parents.*

*Au meilleur des pères Abd Elkader*

*A ma très chère maman Zouad Fatiha*

*Qu'ils trouvent en moi la source de leur fierté*

*A qui je dois tout.*

*A ma très belle sœur Amel et mes frères, mon leader Hamza*

*et le mignon Moussa*

*A qui je souhaite un avenir radieux plein de réussite et de bonheur.*

*A notre nouvel ange Rahil et sa mère Zolla*

*A Djouher et Zineb qui étaient plus que mes trinômes grâce à leur  
patience et à leur travail acharné*

*A mes Amis*

*A tous ceux qui me sont chers « Chinou, Hakim, Yacine, Yasmine,  
Anis, Redha, Ryma, Islem » et surtout*

*« Belalla Abd Elmadjid ».*

*Bouزيد Oussama*

## **Résumé**

Le présent travail a pour objectif de contribuer à la formulation et la caractérisation physico-chimiques et organoleptiques de nouveaux cookies à base de farines de blé tendre et d'orge. Aussi, la substitution partielle de la farine de blé tendre par la farine d'orge a pour but d'améliorer la valeur nutritionnelle de ces cookies en apportant des protéines, des fibres solubles et insolubles, des vitamines et des minéraux. A cet effet, des cookies avec différents taux d'incorporation de farine d'orge (0, 10, 20, 30 et 40%) ont été formulés. Les résultats des analyses physico-chimiques ont révélé que la teneur en eau des cookies produits est inférieure à 3%, ce qui permet de minimiser les risques d'altération au cours du stockage. D'une manière générale, tous les cookies formulés par l'incorporation de la farine d'orge présentent une teneur en protéines élevée avec des valeurs allant de 7.23 à 8.72% et une haute teneur en fibres avec des valeurs allant de 4.25 à 12g/100g de cookies. Cette richesse en nutriments joue un rôle technologique important, notamment dans les réactions du brunissement non enzymatique et l'amélioration de la texture des cookies. Sur le plan organoleptique, les cookies avec un taux d'incorporation de 40% d'orge présentent les meilleurs résultats et ont été très apprécié par les consommateurs naïfs. Ceci entraîne une réduction de 60% de la farine de blé tendre dans la production des cookies. Ces derniers présentent un avantage certain, car ils sont riches en fibres alimentaires et en protéines et ont une bonne qualité technologique et organoleptique (texture et couleur). La farine d'orge pourrait être recommandée aux industries locales dans la fabrication des biscuits de haute qualité nutritionnelle.

**Mots clés :** cookies, blé tendre, orge, fibres alimentaires, protéines.

## **Abstract**

The objective of the present work is to contribute to the formulation and physico-chemical and organoleptic characterization of new cookies based on soft wheat and barley flours. Also, the partial substitution of soft wheat flour by barley flour aims to improve the nutritional value of these cookies by providing proteins, soluble and insoluble fibres, vitamins and minerals. For this purpose, cookies with different levels of barley flour incorporation (0, 10, 20, 30 and 40%) were formulated. The results of the physico-chemical analyses revealed that the water content of the cookies produced is less than 3%, which minimises the risk of spoilage during storage. Generally speaking, all the cookies formulated by incorporating barley flour have a high protein content with values ranging from 7.23 to 8.72% and a high fibre content with values ranging from 4.25 to 12g/100g of cookies. This richness in nutrients plays an important technological role, especially in the non-enzymatic browning reactions and the improvement of the texture of the cookies. Organoleptically, cookies with a 40% barley incorporation rate show the best results and were highly appreciated by naive consumers. This results in a 60% reduction of soft wheat flour in the production of the cookies. The latter have a clear advantage, as they are rich in dietary fibre and protein and have a good technological and organoleptic quality (texture and colour). Barley flour could be recommended to local industries for the production of high nutritional quality biscuits.

Keywords: cookies, soft wheat, barley, dietary fibre, protein

## المخلص

الهدف من هذه المذكرة ابتكار وصفة جديدة لبسكويت من نوع كوكيز بالشعير والقمح اللين بهدف زيادة كمية الالياف الغذائية ومعرفة مدى تأثير الشعير على الخصائص الحسية لهذا البسكويت.

تم تنفيذ هذا العمل في مصنع البسكويت (بيمو) حيث تم دمج دقيق الشعير في وصفة الشاهد بعدة نسب مختلفة (10%, 20%, 30%, 40%).

حسب التحاليل الفيزيو-كيميائية فان الكوكيز يحتوي على اقل من 3% من نسبة الماء. وان الكوكيز المحضر غني بالمغذيات فهو يحتوي على [7.23% - 8.72%] ونسبة عالية من الالياف الغذائية قدرة من 4.25 غرام الى 12 غرام في 100 غرام من لبسكويت.

اما التحاليل الحسية فان الكوكيز 40% شعير و 60% قمح لين اخذ اعلى نسبة في التصويت في الاختبار الحسي.

وفرة الالياف الغذائية والبروتينات لها تأثير ايجابي من الناحية الصحية و التكنولوجيا, وحتى من الناحية الحسية.

الكلمات المفتاحية البسكويت, شعير, قمح لين, كوكيز, الياف غذائية, بروتينات.

## Table des matières

### Résumé

Liste des figures

Liste des tableaux

Liste des abréviations

*Introduction* ..... 1

*Généralités sur le blé et l'orge* ..... 3

1.1 Blé ..... 4

1.1.1 Description botanique ..... 4

1.1.2 Description botanique du grain de blé ..... 5

- Les enveloppes : ..... 5

1.1.3 Les types de blé ..... 7

1.1.4 Composition biochimique du grain de blé ..... 7

1.1.5 Production du blé ..... 13

1.1.5.1 La production mondiale ..... 13

1.1.5.2 Production Algérienne ..... 14

1.1.6 Mouture ..... 16

1.1.6.1 Définition ..... 16

1.1.6.2 Principe de la mouture ..... 16

1.1.6.3 Les étapes de la meunerie ..... 17

1.1.6.4 Différents produits de la mouture ..... 18

1.2 Orge ..... 19

1.2.1 Historique et origine ..... 19

1.2.2 Description botanique ..... 21

1.2.2.1	Description de la plante.....	21
1.2.2.2	Description botanique du grain d’orge .....	23
1.2.3	Composition biochimique .....	26
1.2.4	L’intérêt nutritionnel de l’orge .....	35
1.2.5	Production mondiale .....	38
<b>1.2.6</b>	<b>Production Algérienne .....</b>	<b>39</b>
1.2.6	La mouture .....	39
<b>2</b>	<b><i>Technologie biscuitière .....</i></b>	<b>41</b>
2.1	Historique des biscuits .....	42
2.2	Définition des biscuits.....	42
2.3	Classification des biscuits .....	43
2.4	Cookies historique et origine.....	44
2.5	Composition nutritionnelle des biscuits .....	45
2.6	Ingrédients des biscuits .....	47
2.6.1	La farine .....	47
2.6.2	Le sucre .....	48
2.6.3	La matière grasse .....	48
2.6.4	L’eau .....	49
2.6.5	Les Autres ingrédients .....	50
2.7	Effet de la composition sur les propriétés des biscuits .....	52
2.8	Procédé de fabrication des cookies .....	55
2.9	Détermination de la qualité des biscuits.....	65
2.9.1	Qualité microbiologique.....	65
2.9.2	Qualité nutritionnelle .....	65
2.9.3	Qualité organoleptique .....	66

<b>3 . Matériel et méthodes .....</b>	<b>67</b>
3.1 Objectif.....	68
3.2 Présentation du lieu de travail .....	68
3.3 Matériel .....	69
3.3.1 Matériel végétal .....	69
3.3.2 Matériel non biologiques.....	69
3.4 Méthodologie.....	70
<b>La production de cookies</b> .....	<b>70</b>
3.5 Analyses physico-chimiques .....	74
3.5.1 Analyse effectuées sur les matières premières .....	74
3.5.2 Analyse effectuées sur le produit fini (Cookies) .....	82
3.6 Analyses organoleptiques des Cookies .....	88
<b>4 . Résultats et discussions .....</b>	<b>89</b>
4.1 Analyses physico-chimiques des matières premières .....	90
4.2 Analyses physico-chimiques du produit fini .....	93
4.3 Analyses organoleptiques.....	98
4.4 Rapport énergétique .....	102
<b>Conclusion.....</b>	<b>105</b>

*Annexes*

*Références bibliographiques*

## Liste des figures

<b>Figure 1</b> : Morphologie de la plante de blé .....	4
<b>Figure 2</b> : Schéma de grain de blé en coupe longitudinale .....	6
<b>Figure 3</b> : Composition protéique de la farine de blé, rapprochement de classification d'Osborne et Shewy en 1986 .....	10
<b>Figure 4</b> : Evolution de la production de blé par continent au niveau mondial en tonnes entre 1981 et 2019 .....	13
<b>Figure 5</b> : Importation Algériennes de blé en tonnes entre 2010 et 2019 .....	15
<b>Figure 6</b> : Distribution de l'orge sauvage ( <i>Hordeum spontaneum</i> ) .....	21
<b>Figure 7</b> : Plante d'orge montrant .....	22
<b>Figure 8</b> : Epi d'orge à deux rangs (gauche) et à six rangs (droite) .....	23
<b>Figure 9</b> : Vue ventrale et dorsale du grain d'orge .....	24
<b>Figure 10</b> : Coupe longitudinale d'une grain d'orge .....	26
<b>Figure 11</b> : Production mondiale d'orge de la campagne 2008/2009 à la campagne 2018/2019 (en millions de tonnes) .....	39
<b>Figure 12</b> : Processus de Distribution des ingrédients au mélangeur .....	56
<b>Figure 13</b> : Mélangeur vertical à trois broches et capacité de 1000 kg.....	57
<b>Figure 14</b> : Unité d'inclinaison du bac à pâte pour alimenter un bac à fond .....	58
<b>Figure 15</b> : Schéma de la machine à couper la pate.....	59
<b>Figure 16</b> : Cookie déposant sur une bande d'acier .....	59
<b>Figure 17</b> : Four à rayonnement indirect, longueur 100m .....	60
<b>Figure 18</b> : Refroidisseur d'air.....	61
<b>Figure 19</b> : Machine à empiler les biscuits.....	61
<b>Figure 20</b> : Machines pour le conditionnement de biscuits en flowpack.....	63
<b>Figure 21</b> : Schéma de processus d'emballage des biscuits en barquettes.....	63
<b>Figure 22</b> : Diagramme de production de biscuit à l'échelle industrielle .....	64
<b>Figure 23</b> : Logo de groupe BIMO .....	68

<b>Figure 24 :</b> Diagramme d'élaboration de cookies avec la farine de blé de farine et la farine d'orge. ....	73
<b>Figure 25 :</b> Teneur en fibres des cookies formulés .....	93
<b>Figure 26 :</b> Teneur en protéines des cookies formulés.....	94
<b>Figure 27 :</b> Taux de cendre dans les cookies formulés .....	95
<b>Figure 28 :</b> Teneur en eau des cookies formulés .....	96
<b>Figure 29 :</b> Résultats du pH des cookies formulés.....	97
<b>Figure 30 :</b> Evaluation de l'aspect des cookies formulés. ....	98
<b>Figure 31:</b> Evaluation de la couleur des cookies formulés.....	99
<b>Figure 32 :</b> Evaluation du goût des cookies formulés .....	100
<b>Figure 33 :</b> Evaluation de l'odeur des cookies formulés. ....	101
<b>Figure 34 :</b> Evaluation de la texture des cookies formulés.....	101

## *Liste des tableaux*

<b>Tableau 1 :</b> Caractéristiques technologiques des blés recherchés par la meunerie .....	7
<b>Tableau 2:</b> Classification des protéines selon Osborne en 1907 .....	9
<b>Tableau 3 :</b> Composition lipidique du blé .....	11
<b>Tableau 4:</b> Principaux pays producteurs du blé dans le monde en 2019 .....	14
<b>Tableau 5 :</b> Constituants biochimiques de l'orge en % de matière sèche .....	27
<b>Tableau 6:</b> Valeurs nutritionnelles moyennes de différentes familles de biscuits et gâteaux .....	46
<b>Tableau 7:</b> Ingrédients utilisés pour la formulation de la nouvelle recette de cookies. ....	70
<b>Tableau 8:</b> Les proportions d'incorporation de la farine d'orge dans les différentes formulations de cookies. ....	71
<b>Tableau 9:</b> les différentes zones de four et sont rôles dans la cuisson des biscuits .....	72
<b>Tableau 10:</b> Résultats des analyses physico-chimiques des farines de blé et d'orge .....	90
<b>Tableau 11 :</b> Résultats des analyses physiques des cookies formulés .....	93
<b>Tableau 12 :</b> Valeur énergétique des cookies formulés à partir de 60% farine de blé tendre /40% farine d'orge.....	103

## *Liste des abréviations*

- ADN** : Acide désoxyribonucléique
- ARN** : Acide ribonucléique
- B** : Broyeur
- BOPP** : Biaxialement film de polypropylène orienté
- C** : Convertisseur
- Cl** : Claqueur
- Cm**: Centimeter
- Da** : Daltons
- FAO** : Fondation Alimentaire Organisation
- FAT** : Fibres alimentaires totales
- Fe**: Fer
- g**: Gramme
- GH** : Gluten humide
- HMG-CoA** : 3-hydroxy-3-méthylglutaryl-coenzyme A
- J.-C** : Jésus Christ
- K**: Potassium
- kg** : Kilogramme
- Lp** : Lipoprotéine
- Mg** : Magnesium
- Mg**: Milligram
- Mm**: Millimeters
- Mt** : Million tonnes
- NaHCO<sub>3</sub>** : Bicarbonate de sodium
- NH<sub>4</sub>HCO<sub>3</sub>** : Bicarbonate d'ammonium
- OAIC** : Office Algérien Interprofessionnel des Céréales
- OPP** : polypropylène orienté
- P** : Phosphor
- P** : Plansichter

**PM** : Poids moléculaire

**SAU** : Surface agricole utile

**SG-FPM** : Sous-unité de Gluténine de faible poids moléculaire

**SG-HPM** : Sous-unité de Gluténine de haut poids moléculaire

**um** : micrometer

**UV** : ultras violet

**V** : volume

**W** : l'indice de alvéo graphique

**Zn** : Zinc

# *Introduction*

## ***Introduction***

Les données expérimentales, épidémiologiques cliniques et biologique, indiquent que la presque totalité des maladies chroniques relèvent d'une approche nutritionnelle préventive à des degrés divers. La relation est particulièrement évidente pour l'obésité, le diabète de type 2, les maladies cardiovasculaires, l'athérosclérose, l'hypertension artérielle, certain cancers et d'autres maladies. Dans cette optique la nutrition est un volet incontournable de la prise en charge de la majorité des maladies chroniques (**Schlienger, 2017**).

De nos jours, les aliments à base de céréales complètes sont de plus en plus reconnus comme facteur de santé et de bien-être (**Eufic, 2009**). Riches par leur diversité, les céréales sont aujourd'hui la base de nombreux produits qui constituent notre alimentation quotidienne. Nous pouvons y trouver des aliments artisanaux tels que le pain et le couscous et une large gamme industrielle notamment les biscuits, les biscottes, les pâtes alimentaires...etc.

Les biscuits sont les produits de biscuiterie les plus appréciés par le consommateur algérien, ceci est principalement dû à leurs qualités gustatives, leurs disponibilités dans différentes variétés, leurs coûts accessibles, ainsi que leur longue durée de conservation. En Algérie, l'industrie biscuiterie occupe une place considérable dans l'industrie alimentaire et prend de plus en plus d'importance ces dernières années. Ces biscuits sont surtout destinés à la consommation infantile en tant que collation à l'école (**Makhloufi et Boumaza, 2018**). Par conséquent, l'enrichissement et la fortification des produits de biscuiterie en micronutriments est indispensable.

L'orge (*Hordeum vulgare*) est une céréale largement connue comme une excellente source de fibres alimentaires solubles et insolubles (**CCG, 2009**). Néanmoins, le bêta-glucane ( $\beta$ -glucane), une fibre soluble unique, est le composé favorisant la santé le plus reconnu. En effet, des études ont permis de constater que les bêta-glucanes font baisser le cholestérol plasmiq, améliorent le métabolisme des lipides et réduisent l'indice glycémique. Par ailleurs, les chercheurs à la commission canadienne des grains ont découvert que l'ajout de fractions de fibres d'orge au pain de blé donne un pain sain et nourrissant grâce aux bêta-glucanes (**CCG, 2009**). L'orge possède certes beaucoup d'autres vertus sur la santé humaine et la place prioritaire

qu'elle occupait dans les mets culinaires dans le passé chez les algériens, témoigne d'un savoir-faire et de traditions méritant d'être réhabilités. Le développement de cette culture connue aussi par sa rusticité et par ses capacités d'adaptation aux irrégularités du climat algérien, s'avère primordial face aux nouveaux défis parus à l'échelle planétaire et leurs conséquences néfastes sur la souveraineté alimentaire de notre pays (**Bouziane, 2015**). En outre, l'orge se caractérise par sa teneur en antioxydants, notamment en acides phénoliques, tanins, proanthocyanidines, chalcones, flavonols, flavones, lignanes, flavanones et composés amino phénoliques. L'orge dans les produits à base de blé peut augmenter la valeur nutritive de la farine de blé et des produits qui en sont dérivés (**Holtekjolen et al., 2008 ; Sharma et al., 2014**) et l'orge rivalise bien avec d'autres céréales principales telles que le blé, le riz et le seigle en termes de composés phénoliques variés et uniques, par exemple l'existence de toutes les huit substances de la vitamine E qui ne sont généralement pas complètes dans certaines céréales (**Panfili et al., 2003**).

En Algérie, l'orge entre dans la préparation de nombreux plats traditionnels extrêmement appréciés par les personnes âgées notamment du mermez, d'chicha, du couscous et du pain. Cependant, cette céréale n'a jamais été utilisée pour la préparation de biscuits. Selon **Villarino et al., (2014)**, l'augmentation de la quantité de fibres solubles pourrait réduire la stabilité de la pâte de farine d'orge au cours du procédé de fabrication des biscuits. Toutefois, les  $\beta$ -D-glucanes de l'orge sont des substances utiles dans la préparation d'aliments fonctionnels, notamment en boulangerie, en raison de leurs excellentes propriétés rhéologiques (**Butt et al., 2008 ; Aly et al., 2021**).

C'est dans cette optique que s'inscrit notre travail de formulation d'une nouvelle recette de biscuit de type cookies à base de farines de blé tendre et d'orge. Nous nous sommes également intéressés à la détermination des propriétés physico-chimiques et organoleptiques de ces cookies.

Cette étude est constituée de deux parties. Nous présenterons dans un premier temps une synthèse bibliographique sur le blé, l'orge et la technologie biscuitière. Ensuite, nous détaillerons la partie expérimentale où nous présenterons le matériel et les méthodes utilisées pour la réalisation du présent travail et nous finirons bien évidemment cette partie par la discussion des principaux résultats obtenus.

# *Chapitre 1*

## *Généralités sur le blé et l'orge*

## 1.1 Blé

### 1.1.1 Description botanique

Du point de vue botanique, le blé est une plante constituée d'un pied qui comprend une touffe de racines et plusieurs tiges portant des feuilles allongées qui s'attachent une par une à chaque nœud de tige. Chaque feuille est sillonnée de nervures parallèles, les fleurs du blé sont groupées en formant des épis, une fleur de blé possède 3 étamines : un pistil surmonté et deux plumets. Quand on ouvre un épillet doré (petit groupe de fleurs) on constate que les pistils de chacune des fleurs a grossi il est devenu un fruit, c'est un grain de blé (Phifix, 2004).

Le blé est une plante monocotylédone qui appartient au genre *Triticum* de la famille des *Gramineae* (Feillet, 2000).

C'est une céréale dont le grain est un fruit sec et indéhiscents caryopse, constitué d'une graine et de téguments (Feillet, 2000).

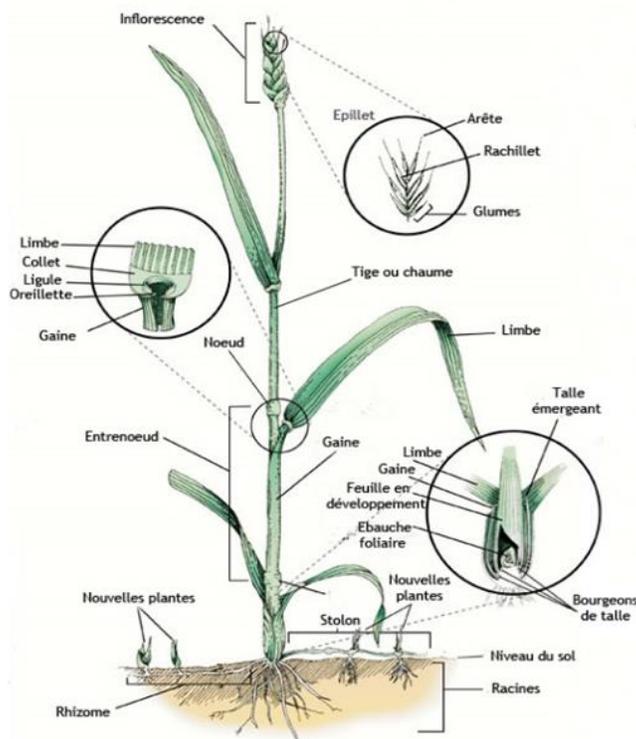


Figure 1 : Morphologie de la plante de blé (Boutarela, 2012)

### 1.1.2 Description botanique du grain de blé

Au niveau morphologique, le grain de blé est ovoïde et présente, sur la face ventrale, un sillon qui s'étend sur toute sa longueur.

Le grain mesure de 5 à 7 mm de long, de 2.5 à 4 mm de large et de 2.5 à 3.5 mm d'épaisseur. Sa couleur varie du jaune pâle (blé dur ou blé tendre) à l'ocre roux (la plupart des blés tendre). Le grain pèse entre 20 et 50 mg (**Surget et Barron, 2005**).

Un grain de blé est formé de trois régions :

#### - Les enveloppes :

Formée de six tissus différents : épiderme du nucelle, tégument séminal ou testa (enveloppe de la grain), cellules tubulaire, cellules croisées, mésocarpe et épicarpe (13-17%). (**Feillet, 2000**)

#### • Tégument du fruit ou péricarpe externe :

C'est une pellicule qui s'arrache assez facilement aux premières étapes de mouture, il est de nature très fibreuse et est composé essentiellement de cellulose, d'hémicelluloses et de lignine.

#### • Le péricarpe interne :

Il est constitué de trois couches cellulaires :

- Les cellules intermédiaires
- Les cellules transversales
- Les cellules tubulaires ou endocarpe

#### • Le testa ou tégument séminal :

C'est l'enveloppe de graine. il est constitué de deux couches cellulaires les cellules de la première couche sont orientées de manière perpendiculaire à la seconde ce qui donne cet aspect caractéristique de quadrillage (**Surget et Barron, 2005**).

#### - L'albumen (endosperm) :

Constitué de l'albumen amylicé (au sein duquel subsistent des cellules remplies de granules d'amidon dispersés au milieu d'une matrice protéique et dont les parois celluloses sont peu visibles) et de la couche à aleurone (80-85%) (**Feillet, 2000**).

On trouve deux tissus :

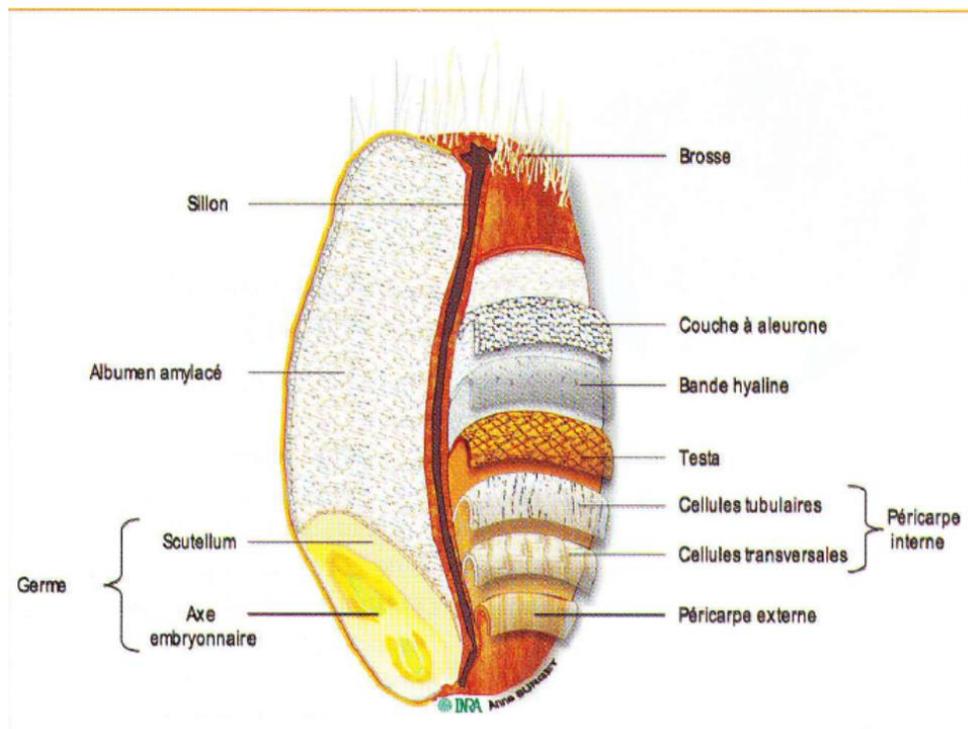
- Le couche à aleurone ou assise protéique : riche en protéines et en lipides et forte teneurs en micronutriments.
- L'albumen amylicé : il se présente sous la forme de grandes cellules à parois très fine dont la taille et la forme différent en fonction de leur position dans l'amende (**Surget et Barron, 2005**).

- Le germe ou embryon :

Composé d'un embryon (lui-même formé de coléoptile, de la germule, du la radicule, du coléorhize et de la coiffe) et du scutellum 3% (**Feillet, 2000**).

Il est riche en protéines et en lipides. Le germe se décomposé en deux parties :

L'axe embryonnaire et le scutellum (**Surget et Barron, 2005**).



**Figure 2** : Schéma de grain de blé en coupe longitudinale (**Surget et Barron, 2005**)

### 1.1.3 Les types de blé

Les deux espèces de blé les plus cultivées dans le monde sont :

Le blé tendre « *Triticum aestivum* », (AA, BB, DD), le nombre de chromosomes est de 42.

Le blé dur « *Triticum durum* », (AA, BB), le nombre de chromosomes est de 28.

Les variétés de blé tendre recommandées par la meunerie française sont :

- Blés panifiables : Aligre, Baroudeur, Camp Rémy, Malacca, Récital, Shango, Soissons.
- Blés de force : Florence Aurore, Galibier, Manita et Qualital.
- Blés de à tendance biscuitière : Albinoni, Ami, et crousty.

Ces types de blés sont classés sur la base de leur teneur en protéines, leur poids spécifique ou poids à l'hectolitre et leur humidité (**Feillet, 2000**).

**Tableau 1** : Caractéristiques technologiques des blés recherchés par la meunerie (**Feillet, 2000**).

	Teneur en protéines	Force (W)	Note de panification	Type de blé
<b>Blé panifiable de force</b>	>14%	>350	-	-
<b>Blé panifiable</b>	12 à 12.5%	>200	<225	-
<b>Blé à tendance biscuitière</b>	<11%	<150	-	friable

### 1.1.4 Composition biochimique du grain de blé

Le grain de blé constitué majoritairement d'amidon, de protéines et de pentosanes, avec d'autres constituants qui représentent de petites proportions sont les lipides, les vitamines, la cellulose, les minéraux et des sucres libres (**Feillet, 2000**).

- **L'amidon** : Est le principal polysaccharide de réserve des végétaux (environ 70%), est un glucide complexe formé de deux molécules polymères de glucose sont l'amylase 26-28% et l'amylopectine 72-74%.
- **Les pentosanes** : Sont des polysaccharides non amyliques constitutifs des parois végétales ; principaux constituants de parois cellulaires de l'albumine (70-80%).ils représentent 6 à 8% du grain et 2 à 3% de la farine, leur teneur dans les grains est une caractéristique fortement héréditaire On les subdivise en pentosanes solubles et pentosanes insolubles en fonction de leur solubilité dans l'eau froide, ou en arabinoxyane et en arabinoglactanes selon que leur squelette est constituée d'unité D-xylose ou D-galactose.
- **La cellulose** : Est un homopolymère linéaire fibrillaire et partiellement cristalline, résistant à l'hydrolyse, constituée des molécules de glucose liée par des liaisons  $\beta$ -(1-4). Elle est sans effet connu sur la qualité d'usage des farines.
- **Les sucres libres** : On trouve également des glucides simples, environ 2% dont la majeure partie est localisée dans le germe et l'assise protéique (**Fredot, 2005**).
- **Les protéines** : Représente 8-18% de la masse sèche du blé sont inégalement répartie entre les différents couches histologiques du grain.

**1-Le gluten (protéine de réserve)** : complexe protéique viscoélastique constitué d'un mélange hétérogène de gliadine et de gluténines associées par des liaisons covalentes(s-s) et non covalentes (hydrogène, ionique) et des interactions hydrophobes. Il contient des protéines (75-80%), des lipides (5-7%), de l'amidon (5-10%) et de l'eau (5-8%) (**Feillet, 2000**).

**1.1- Gliadines** : Protéines monomériques dans lesquelles les liaisons disulfures, quand elles existent les  $\omega$ -gliadines en sont dépourvues, sont intramoléculaires, elles contribuent à la viscosité et à l'extensibilité du gluten (**Feillet, 2000**).

**1.2-Gluténines** : Protéine polymérique dont les chaînes polypeptidiques élémentaires, elles sont responsables de l'élasticité et de la ténacité de la pâte (**Feillet, 2000**).

**1.3- Prolamines** : Est constituée de deux groupes des protéines ; les gliadines qui sont des protéines monomériques, et les Gluténines qui contiennent deux groupes ; les sous-unités de Gluténines de haut poids moléculaire (SG-HPM) et les sous-unités de Gluténines de faibles poids

moléculaire (SG-FPM) (**Feillet, 2000**). Les prolamines sont classées en fonction de leur état d'agrégation et de leur teneur en soufre (**Feillet, 2000**).

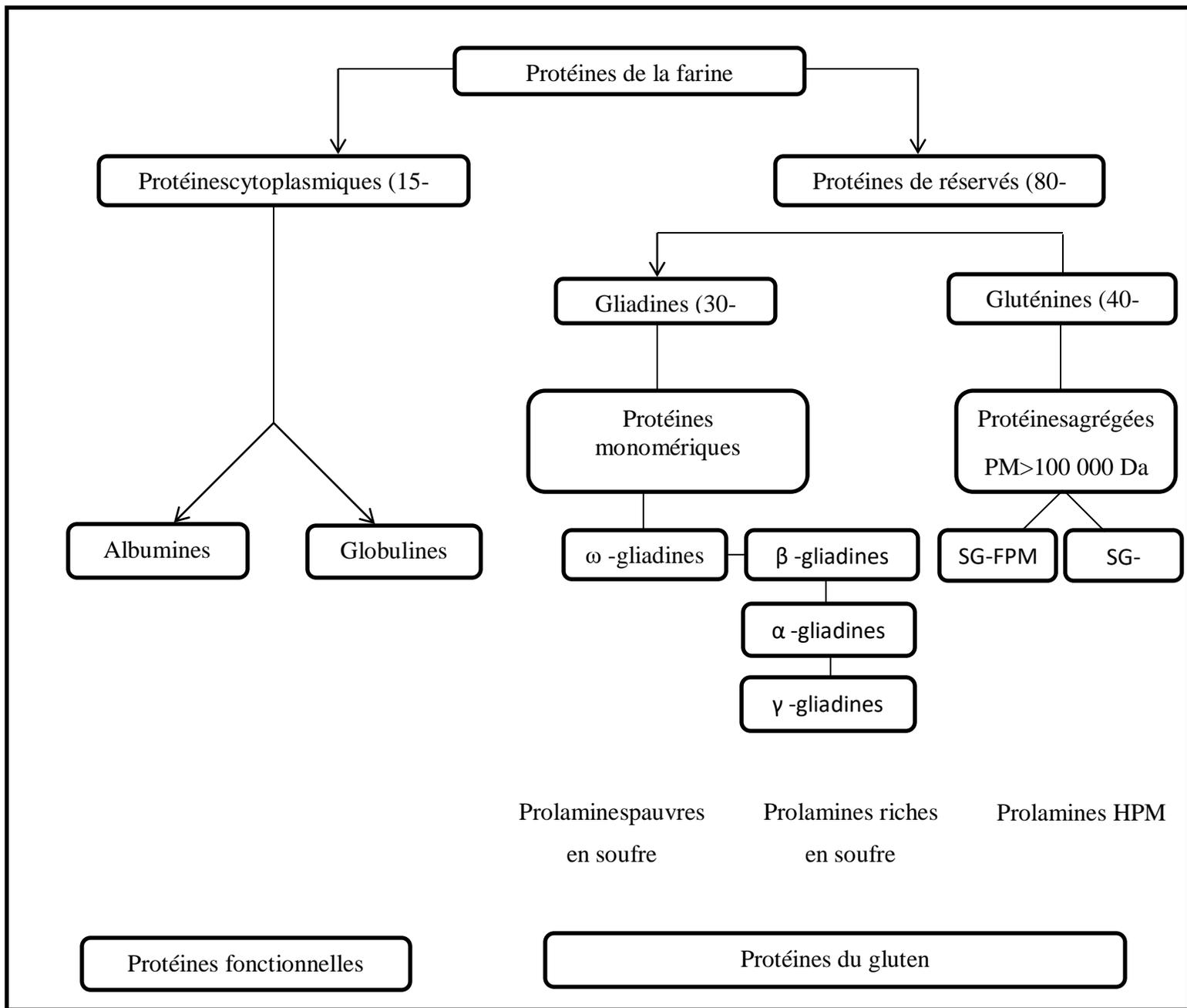
- Prolamines monomériques :
  - Pauvres en soufre.
  - Riches en soufre.
- Prolamines polymériques :
  - Riche en soufre et de faible poids moléculaire.
  - De haut poids moléculaire.

**2- Les albumines et les globulines (protéines cytoplasmiques) :** les protéines solubles représentent 15-20% de protéines de la farine (**Feillet, 2000**).

Depuis les travaux d'Osborne en 1907, les protéines sont classées en quatre classes en fonction de leur solubilité (Tableau 2).

**Tableau 2:** Classification des protéines selon Osborne en 1907 (**Feillet, 2000**)

Groupement protéique	Solvant
<b>Albumines</b>	Eau
<b>Globulines</b>	Solution salines neutres
<b>Gliadines et prolamines</b>	Solutions alcooliques
<b>Gluténines solubles</b>	Solutions acides diluées



**Figure 3 :** Composition protéique de la farine de blé, rapprochement de classification d’Osborne et Shewy en 1986 (Feillet, 2000).

**Les lipides :** Ils sont localisés surtout dans le germe et les enveloppes, la matière grasse qu'ils renferment est de 12,5% dans le germe, 5,6% dans les enveloppes, et 0.8 à 1% dans 1 albumen. Les lipides sont des constituants mineurs du blé, ils représentent de 2 à 3% du grain sec (**Adrian, 1987**). C'est pour cela que le germe est éliminé de la farine pour éviter le vieillissement qui sera accéléré à cause de l'évolution des lipides (**Grandvoinet et Prati, 1994**), les lipides des céréales sont riches en acides gras insaturé.

**Tableau 3 :** Composition lipidique du blé (**Feillet, 2000**).

Fractions de grain	Lipides totaux (%ms)	% des lipides totaux			
		Lipides non polaires	Phospholipides	Glycolipides	Acides gras libres
Grain entier	1.5-3.5	44-80	6-40	8-21	21
Péricarpe	0.5-1.5	38	32	30	
Couche à aleurone	6-18	72-83	14-18	2-10	
Germe	10-30	80-85	14-17	0	1-2
Amidon	0.8-1.2	4-6	1.5-6.5	90-95	2.5-3.5
Son	4.5-6	80	10		
Farine	1.4-2	50	20-25	24-28	5

**Les minéraux :** Ils sont présents dans le grain en faible quantité à raison de 2 à 3% de la matière fraîche du grain. Les principaux minéraux sont le potassium, le magnésium, le cuivre souvent associé à des sels (phosphate, chlorure ou sulfate) (**Djelti, 2014**).

**Les vitamines :** Ce sont des composés chimiques très complexes, concentre surtout dans le péricarpe et le germe à des teneurs très faibles. Ils sont parfois associés à des vitamines (pigment caroténoïde) (**Niquet et Lasseran, 1989**). Ainsi, les grains de blé contiennent principalement trois vitamines ; la vitamine BI, B2 et PP, les autres vitamines sont aussi présentes mais avec une faible teneur (**Godon et Lasseran, 1989**).

**Les enzymes :** Sont des protéines qui exercent une activité catalytique spécifique d'un très grand nombre de réactions chimiques avec un mode d'action endo-ou exo-enzymes.de nombreuses

enzymes réparties dans les différentes parties histologiques de grain sont concentrée dans la périphérie de grain notamment dans la couche à aleurone (**Feuillet, 2000**).

- 1- Les protéases trouvées en quantité relativement faible, dont l'une d'elles coupe les chaînes polypeptidiques en leur milieu avec une production de molécules de masses encore élevée. L'autre agit pré de l'extrémité de chaînes et libéré les acides aminés libres et les peptides.
- 2- Les amylases sont des hydrolases capables de dégrader spécifiquement les liaisons glucosidiques de l'amidon (amylase et amylopectine) et de ses produits de dégradation (malt, dextrine) jusqu'au stade oligosaccharide qui vont être utilisées par les levures durant le processus de la fermentation panair (**Adrian et Pouffait, 1996**).
- 3- La lipase qui est une enzyme lipolytique trouve son activité concentre dans la couche à aleurone et augmente au cours de la germination. Dans la farine elle croit avec le taux d'extraction puisqu'elle augmente la production d'acides gras insaturés lors de la mouture et la conservation (**Potus et al, 1994**).

**L'eau :** L'eau dans le blé représente 8 à 9 % avec une valeur moyenne de 14% (**Godon, 1991**). Cette caractéristique de siccité des blés permet de faciliter les opérations de transport, de conservation et la possibilité de traitement par voie sèche. Du point de vue physique et chimique son action de solvant favorise les réactions enzymatiques et les attaques microbienne lorsque sa teneur dans le gain dépasse un certain seuil (**Niquet et Lasseran, 1989**). L'eau est présente dans le grain sous des formes différentes (**Cruz et al, 1989**) :

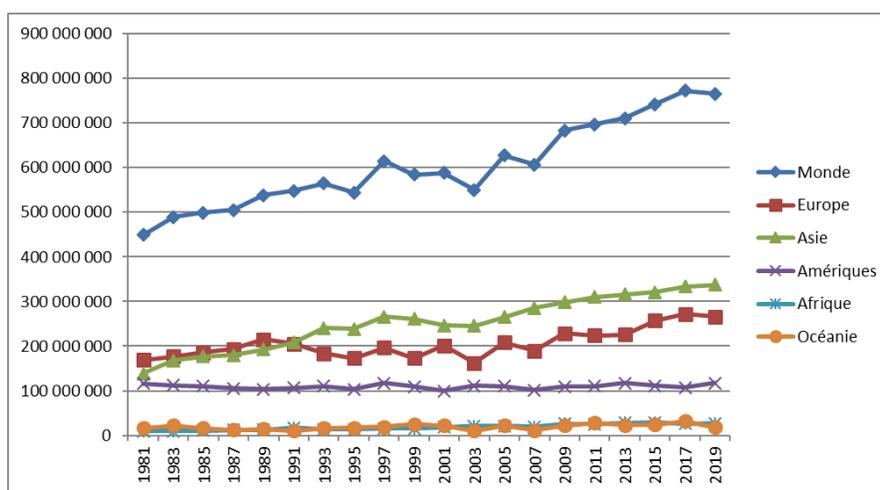
1. L'eau de dissolution dans les vacuoles des cellules ; c'est une eau que l'on qualifie « libre ».
2. L'eau d'inhibition associe aux colloïdes.
3. L'eau de constitution très fortement fixée à la molécule.

## 1.1.5 Production du blé

### 1.1.5.1 Production mondiale

Selon la **FAO (2022)**, la production mondiale de céréales en 2021 a été relevée de 2,1 millions de tonnes en février et s'établit à présent à 2 793 millions de tonnes, soit une hausse de 0,8 pour cent en glissement annuel. La plus grande partie de l'évolution enregistrée cette année s'explique par une production de blé plus importante que prévu en Argentine et en Australie, ainsi que par une légère hausse des estimations concernant la production en Fédération de Russie et en Ukraine.

La production mondiale de blé a fortement augmenté en 30 ans. Elle est passée de 449.6 millions de tonne en 1981 à 765,8 millions tonnes en 2019 (soit une multiplication par 1,7) (**FAO, 2021**). Alors que l'Europe a été leader de la production mondiale de blé jusqu'au début des années 90, elle a été dépassée depuis par l'Asie, dont la production a explosé, passant de 138.9 millions de tonnes en 1981 à 337,9 millions de tonnes en 2019 (soit une multiplication par 2.43). La production de blé sur le continent américain est également en croissance, mais dans des proportions moins importantes que pour l'Europe ou l'Asie (**FAO, 2021**). Elle est ainsi passée de 115.8 millions de tonnes en 1981 à 116,8 millions de tonnes en 2019 (Figure 4).



**Figure 4 :** Evolution de la production de blé par continent au niveau mondial en tonnes entre 1981 et 2019 (**FAO, 2021**).

Le classement de l'année 2019 des principaux premiers producteurs du blé indique que la Chine est toujours en première position. Et l'Inde en deuxième position. Par contre les États-Unis se situent en quatrième position après Russie (Tableau 4).

**Tableau 4:** Principaux pays producteurs du blé dans le monde en 2019 (FAO, 2021).

Rang	Pays	Production (tonnes)
1	Chine	131 447 224
2	Inde	99 700 000
3	Russie	72 136 149
4	États-Unis d'Amérique	51 286 540
5	France	35 798 234
6	Canada	31 769 200
7	Pakistan	25 076 149
8	Ukraine	24 652 840
9	Australie	20 941 134
10	Allemande	20 263 500

### 1.1.5.2 Production Algérienne

La superficie totale de l'Algérie est de 238 millions d'hectares dont 191 millions sont occupés par le Sahara. La superficie agricole représente 3% de ce total, la surface agricole utile (SAU) est de 7,14 millions d'hectares (Mara, 1992). Les céréales sont les cultures annuelles les plus importantes pour l'agriculture algérienne (Malki et Redjel, 2000). Chaque année, environ 3,3 millions d'hectares sont consacrés à des cultures céréalières dont environ 1,5 million d'hectares sont plantés de blé dur, 600 000 hectares de blé tendre (Abis, 2012).

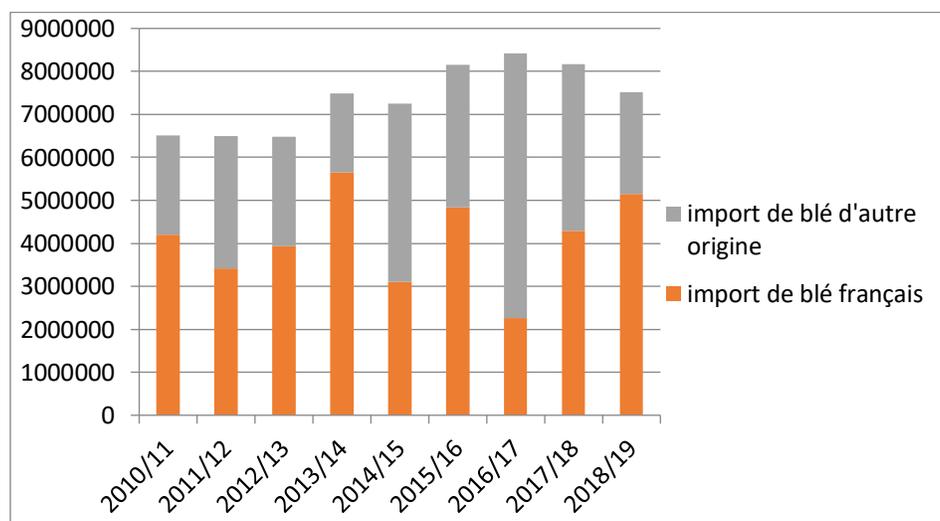
En effet, la production céréalière au cours de la période 2010-2017 est estimée à 41.2 Millions de quintaux en moyenne, soit un accroissement de 26% par rapport à la décennie 2000-2009 où la production est estimée en moyenne à 32.6 Millions de quintaux. Cette production est constituée

essentiellement du blé, qui représente 51% de l'ensemble des productions de céréales en moyenne 2010-2017 (MADR, 2018).

Par ailleurs, l'Algérie se situe au premier rang mondial de la consommation de blé avec plus de 200kg par tête en 2003 (Kellou, 2008). Cette consommation de blé a légèrement augmenté ces dernières années en raison de l'urbanisation accrue, de la croissance de la population et de l'augmentation de la capacité de broyage, mais devrait rester plus ou moins stagnante (Hales et Rush, 2016).

### ❖ Importations Algériennes de blé

Les importations de blés ont été multipliées par 10 en Algérie entre les années 1966-69 (698 500 tonnes) et 2000-2005 (6 796 000 tonnes) pour se situer autour de 8 millions de tonnes en 2010-2015. Ces dernières années, l'Algérie est devenue l'un des plus gros importateurs de blé européen, notamment français. Sur les campagnes 2010/11 à 2018/19, c'est en moyenne 56 % du blé importé par l'Algérie qui était originaire de France. Au cours de la campagne 2018/19, le pays a importé 68 % (5,1 Mt) de blé d'origine française. Alors que la plus forte valeur de blé importé de France était en 2013/14 avec 5658453 tonnes (Figure 4) (OAIC, 2019).



**Figure 5** : Importation Algériennes de blé en tonnes entre 2010 et 2019 (OAIC, 2019)

## 1.1.6 Mouture

### 1.1.6.1 Définition

#### La meunerie

La fabrication de la farine est réalisée par l'industrie de meunerie. La mouture industrielle se caractérise par toute une série d'opérations nécessaires et suffisantes pour permettre au meunier de fabriquer à partir d'un blé préalablement nettoyé et préparé correctement un maximum de farine contenant un minimum de débris de son (**Wilim, 1984**).

### 1.1.6.2 Principe de la mouture

Le but à atteindre par la mouture est l'obtention, sous forme de farine, le maximum de l'amande farineuse présente dans le grain.

Les principes directifs de la mouture sont alors les suivantes :

- a. Broyer progressivement le grain de telle sorte que les enveloppes de celui -ci soient les moins brisées possibles.
  - b. Nettoyer la face interne de ces enveloppes en essayant au maximum de garder leur intégrité.
  - c. Assurer progressivement la réduction des semoules plus moins vêtues, provenant du broyage, en évitant au maximum celle des enveloppes présentes sur ces produits
- chaque stade de réduction (broyage, claquage, convertissage) est suivi aussitôt par le classement en grosseur, à l'aide du tamis, du produit venant d'être réduit, c'est le blutage
  - chaque stade de réduction de farine produit une certaine quantité de farines appelées farine de passage. Ces farines ajoutées à celles obtenues dans le séchage des finots, constitueront par leur mélange le produit fini appelé farine entière.
  - Le sassage et le claquage sont 2 stades intermédiaires entre le broyage et le convertissage, ayant pour but la purification et la transformation des semoules de broyage en produits très purs, analogues aux finots : les gruaux (**Selselet, 1991**).

### 1.1.6.3 Les étapes de la meunerie

- Les grains sont d'abord débarrassés des particules étrangères et des impuretés qui les accompagnent par divers procédés faisant appel entre autre à des différences de tailles ou de densités et de lavage.

- Les grains sont ensuite conditionnés ; il y a en effet une humidité relative optimale pour les broyages et les tamisages dépendant de la variété de blé ; elle correspond en moyenne à une teneur en eau de 15 à 17 %. A cette humidité, le son est relativement dur et élastique, l'albumen est mou et friable, ce qui permet de les détacher l'un à l'autre plus facilement (**Cheftel et Cheftel, 1984**).

Après le mouillage du blé, il faut qu'il subisse un "temps de repos" afin que l'eau pénètre dans le grain et se répartisse bien dans l'amande farineuse, le lot de blé y séjourne de 18 à 36h (**Calvel, 1984**).

Une période de repos de moins de douze heures ne permet pas à l'humidité de se répartir uniformément dans le grain, ce qui rend la séparation pendant l'opération de la mouture (Albumen/ son) difficile (**Bouldreau et Worden, 1992**).

#### ❖ La mouture

##### - Le broyage

Est réalisé par des appareils à cylindres cannelés. Sa désignation dans le diagramme de fabrication se fait par la lettre B, exemple : B 1 .B3 . Cette opération consiste à écraser les grains de blé

##### - Le claquage et convertissage

Sont les 2 phases de réduction des produits provenant du broyage, les claqueurs désignés par CL. Les convertisseurs, désignés par C, sont des appareils à cylindres lisses

##### - Le blutage

C'est l'opération qui, après chaque passage dans un appareil à cylindres (broyeurs, claqueurs ou convertisseurs), classe les produits selon différentes tailles, ce qui passe à travers le tamis constitue ce qu'on appelle par convention l'extraction, ce qui reste sur le tamis constitue le refus.

Dans la meunerie moderne, on a affaire le plus souvent à des plansichters qui ne sont autres que des piles verticales de tamis que l'on désigne par P. suivi du nom du passage par exemple : P1/BS ou B1/C3.

- **Le séchage**

Est un terme de vocabulaire meunier désignant une partie spéciale du blutage qm consiste à finir de séparer d'un produit la farine qui se trouve mélangée à lui

- **Le sassage**

Est une opération intermédiaire entre le broyage et la première phase de réduction des produits de claquage. Son but est de purifier et classer les produits allant au claquage

Curage des sons opération qui consiste à réduire au maximum la quantité d'amande adhérente sur la face intérieure des enveloppes (**Selselet, 1991**).

#### **1.1.6.4 Différents produits de la mouture**

**a) La farine**

Est le principal produit de la mouture, constitué par des particules très fines de l'amande du grain de blé résultant de la réduction de celle -ci. En gros, la farine passe à travers un tamis 10 XX dont l'ouverture de maille est de 0,1 mm

**b) Les semoules**

Sont des morceaux d'amande, plus ou moins vêtus d'enveloppes, leur grosseur est variable : il y a des grosses semoules qui restent sur un tamis n° 40 (Maille de 0,5 mm) et des fines semoules dites propres ou vêtues (pur de l'amande et gardent des fragments d'enveloppes).

**c) Les finots**

Sont des semoules très fines et très pures, leur taille varie autour de 0,2 mm, ils proviennent des passages du broyage.

**d) Les gruaux**

Sont des produits analogues aux finots : ils proviennent de la réduction des semoules en tête du claquage et du convertissage.

**e) Les issues**

Sont les produits finis autres que la farine. On distingue

- Les sons

Constitués par les enveloppes du grain et une certaine partie de l'amande adhérente à la face interne de ces enveloppes suivant leur taille, on distingue les gros sons et les sons fins.

- Les remoulages

Comprennent un mélange d'enveloppes plus ou moins finement broyées et d'amande farineuse.

On rencontre 2 types de produits

- les remoulages bis : les remoulages bis, les plus gros de couleur rouge qui constituent sur le diagramme de fabrication le refus final de claquage.

- les remoulages blancs : les plus fins, les plus riches en farine, qui représentent l'issue recueillie en fin de convertissage (**Selselet, 1991**).

### f) Les farines basses

De couleur bis, extrêmement piquées correspondant aux farines obtenues en faible quantité à la fin du claquage et du convertissage suivant le taux d'extraction désiré, ces farines peuvent être extraites à part.

Selon **Selselet (1991)**, on a un exemple de bilan d'une mouture de blé à un taux d'extraction de 75% : farine 75%, sons (gros 9%, fins 7%), remoulage bis 3%, remoulage blancs 5%, déchets de nettoyage 1%.

## 1.2 Orge

### 1.2.1 Historique et origine

L'orge (*Hordeum vulgare*) est l'une des plus anciennes cultures domestiquées connues et la quatrième culture céréalière la plus répandue dans le monde (**FAOSTAT, 2019**). L'orge est apparue pour la première fois dans plusieurs sites de pré agriculture ou de début d'agriculture en Asie du Sud-ouest. Les vestiges sont des formes fragiles à deux rangs, morphologiquement identiques à l'orge sauvage moderne et apparemment recueillies dans la nature (**Nevo, 2012**). Il existe de nombreux rapports sur l'origine et l'évolution de l'orge cultivé, avec des opinions contradictoires sur le centre primaire d'origine et d'évolution **Vavilov (1926, 1951)**. A proposé que "le Croissant fertile", comprenant l'Asie mineure, le Caucase, l'Irak, la Turquie, la Jordanie, la Syrie, la Palestine et le Liban, était le centre

d'origine de l'*Hordeum*. Cependant, jusqu'à présent, les points de vue impliqués dans les centres d'origine de l'orge cultivée ont été ambigus dans la définition et les limites des centres d'origine, et les centres d'origine primaires et secondaires ne sont toujours pas clairs, sans qu'aucun verdict universel ne soit atteint.

Le Croissant fertile du Proche-Orient est généralement considéré comme le principal centre d'origine et de domestication de l'orge en raison de ses premières activités agricoles, notamment la plantation d'orge il y a environ 10 000 ans (**Zohary et al., 2012**). De plus, des études archéologiques confirment ce point de vue. Par exemple, à Jarmo en Irak, les carbures de grains et les épillets d'orge, dont l'existence a été estimée avant 7000 avant J.-C., sont comme un type entre l'orge sauvage et l'orge cultivée.

Badr et al, a examiné les fréquences alléliques de 400 loci polymorphes de longueur de fragment amplifié (AFLP) dans 317 orges sauvages et 57 orges cultivées, et a constaté qu'au niveau moléculaire, les populations d'orge sauvage de Palestine-Jordanie sont plus similaires au pool génétique cultivé que toute autre population sauvage, ce qui indique que la région de Palestine-Jordanie est un centre primaire de domestication de l'orge cultivée. Cependant, de plus en plus de preuves ne soutiennent pas le point de vue selon lequel un seul centre est impliqué dans l'origine et la domestication de l'orge (**Morrell and Clegg, 2007**). Par ailleurs, **Harlan et Zohary (1966)** ont considéré le croissant fertile comme centre unique de l'origine de l'orge sauvage (*Hordeum spontaneum*) et parent héréditaire de l'orge cultivée à deux et à six rangs, qui a diffusé vers les maquis méditerranéens (Figure 6).



**Figure 6** : Distribution de l'orge sauvage (*Hordeum spontaneum*) (Harlan et Zohary, 1966)

Triangle jaune : orge sauvage au Proche-Orient. Triangle bleu : Asie centrale Triangle rouge : orge sauvage dans le plateau tibétain et ses environs (Nevo, 2012 modifié par Dai).

## 1.2.2 Description botanique

### 1.2.2.1 Description de la plante

L'orge (*Hordeum vulgare* L.) est une plante annuelle, autofécondée très semblable au blé dans la morphologie de ses organes végétatifs et floraux (Figure 4) (Leonard et Martin, 1973).

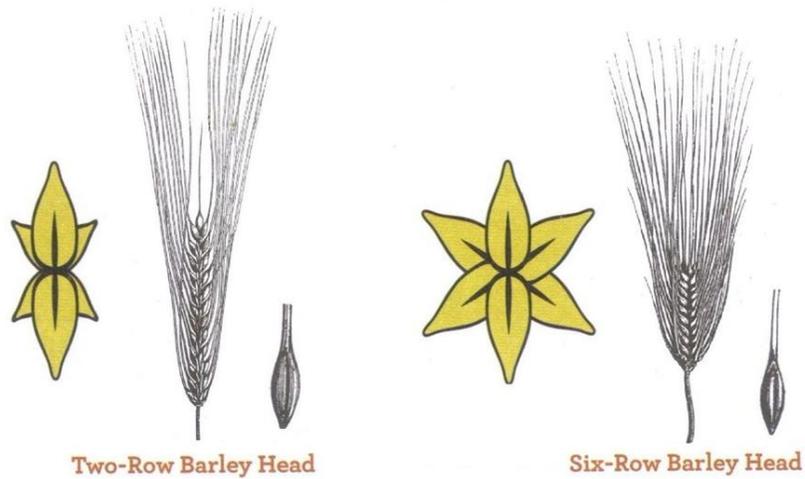
Contrairement au blé, où l'on retrouve plusieurs niveaux de ploïdie, l'orge spontanée et l'orge cultivée sont des espèces diploïdes possédant le même nombre chromosomique ( $2n = 14$ ). Cette espèce, bien qu'appartenant à la même tribu (*Triticeae*) que le blé, est placée dans la sous-tribu Hordeinae du fait de différences au niveau de la structure de ses épis. Contrairement à l'épi de blé (et ceux d'autres genres de la sous-tribu Triticinae) qui n'a qu'un seul épillet inséré à chaque nœud du rachis, l'épis d'orge comportent deux épillets par nœud.

Chaque épillet d'orge produit une seule fleur fertile, contrairement aux épillets de blé qui peuvent produire de 3 à 5 fleurs chacun. Cependant l'orge et le blé sont génétiquement assez proches pour permettre la production d'hybrides inters géniques sous conditions expérimentales, bien que la fertilité des plants hybrides obtenus soit très réduite. Les variétés d'orge sont regroupées d'après les caractéristiques de leurs épis, en orges à six rangs et en orges à deux rangs. Les orges à six rangs comportent des épillets fertiles regroupés par trois sur chaque plan de l'axe vertical de l'épi. Les deux épillets latéraux des orges à deux rangs sont stériles et ne produisent qu'un seul caryopse par groupes de trois épillets (Figure 5). Dans ce dernier cas, l'épi apparaît comme un épi distique quand on l'observe sur le plan transversal. Autrement, les caractéristiques végétatives et florales de l'orge sont similaires à celles du blé (**Leonard et Martin, 1973**).



**Figure 7** : Plante d'orge montrant (**Leonard et Martin 1973**)

- a)** épis terminal, **b)** partie supérieure du pédoncule floral, **c)** feuille rattachée au noeud « flag leaf», **d)** région internodale, **e)** limbe de la feuille, **f)**internode sous le pédoncule floral



**Figure 8 :** Epi d'orge à deux rangs (gauche) et à six rangs (droite) (**Leonard et Martin,1973**)

### 1.2.2.2 Description botanique du grain d'orge

Les grains d'orge sont généralement plus gros et plus pointus que le blé et ont une couleur jaune clair et brillante. Toutefois la couleur peut varier de jaune clair à violet, violet à bleu et noir, qui est principalement causé par le niveau d'anthocyanines dans la coque, le péricarpe et ou la couche d'aleurone (**Baik et Ullrich,2008**).

Le grain d'orge présente une nervure médiane et deux nervures latérales dorsales. Il est prolongé par une barbe. Alors, que la glumelle supérieure correspond à la face ventrale du grain Celui-ci présente une dépression ou sillon à la base duquel est insérée une baguette (**Jeantet et al., 2007**) (figure 9).

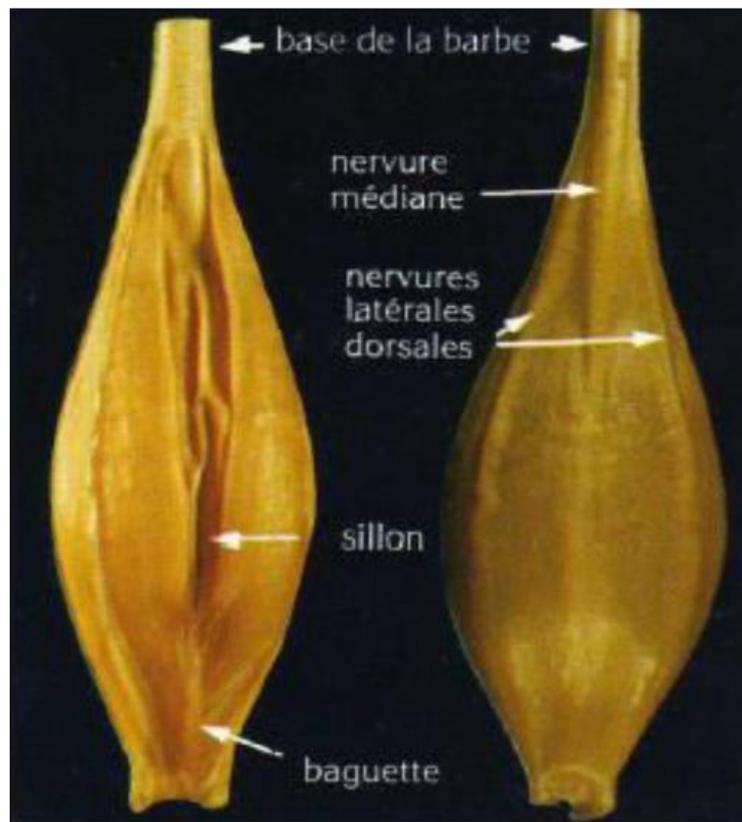


Figure 9: Vue ventrale et dorsale du grain d'orge (Souillah, 2009)

Le grain d'orge est composé de plusieurs parties :

- Les glumelles

Les glumelles constituent l'enveloppe externe du grain d'orge et représentent environ 10% de son poids sec. On distingue les glumelles dorsales (lemma) des ventrales (palea). Les glumelles sont principalement formées de cellulose (20%), d'hémicellulose (30-45%) et de lignine (10-20%) (Höjje *et al.*, 2005).

- Le péricarpe

Il est composé de plusieurs types de cellules qui se situent entre les glumelles et la testa. Il est séparé des glumelles par une couche protectrice cuticularisée appelée épicarpe et est soudé à

la testa (tégument séminal) (**Freeman et Palmer, 1984**). Cette couche agit comme une membrane semi-perméable permettant les échanges gazeux sur la face externe, et l'hypoderme sur sa face interne, de cellules croisées de forme rectangulaire et situées près de la testa.

La testa est entourée par deux zones cuticulaires, la plus interne issue du tissu nucellaire étant plus fine que la plus externe qui est issue des cellules de la testa (**Briggs, 1998**).

- L'embryon

Situé dans la partie dorsale de la graine, les deux composants majeurs de l'embryon sont l'axe embryonnaire qui formera la plantule au cours de la germination et le scutellum qui aura un rôle dans la synthèse d'enzymes et le transfert des nutriments de l'albumen vers l'embryon lors du développement du grain.

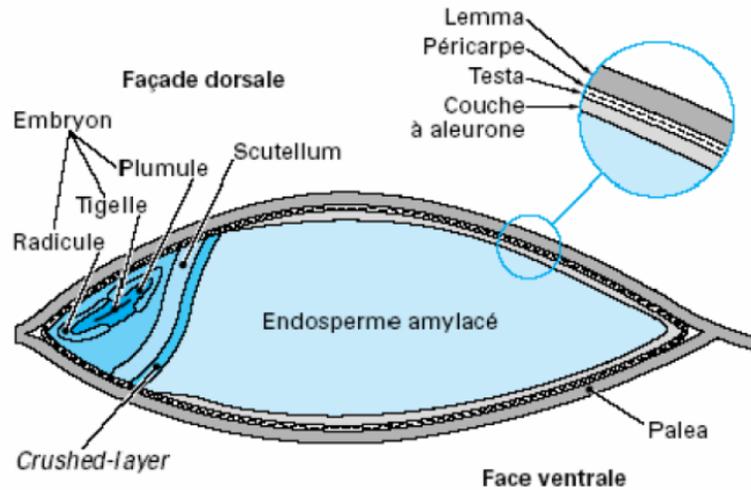
A la maturité l'embryon se divise en trois régions :

- La tige (coléoptile)
- La méso cotyle
- Les radicules enveloppées dans le coléorhize.

La méso cotyle et l'axe embryonnaire se trouvent entre les coléoptyle et les radicules (**Briggs, 1998**).

- L'albumen

L'albumen est le tissu de réserve de l'orge, il contient des grains d'amidon, des protéines de réserve, des lipides et des polysaccharides pariétaux. L'albumen est composé de la couche à aleurone et de l'albumen amylicé (**Fincher and Stone, 1986; Jadhv et al. 1998; Sullivan et al.2010**).



**Figure 10** : Coupe longitudinale d'un grain d'orge (Société Malteurop, 2000)

### 1.2.3 Composition biochimique

L'azote, les minéraux, l'amidon et les fibres alimentaires sont les composants qui présentent le plus d'intérêt dans l'orge (Grando et Gómez Macpherson, 2005).

Il contient également des protéines avec un contenu limité en lysine et des lipides dont le tiers est situé dans le germe. Ces constituants se répartissent très différemment selon les tissus.

**Tableau 5** : Constituants biochimiques de l'orge en % de matière sèche (**Allouio-Ouarnier, 1999**).

Constituant chimique	Teneur en % de poids sec
<b>Glucides</b>	78-85
○ Amidon	63-65
○ Saccharose	1-2
○ Sucres réducteurs	0,1-0,2
○ Polysaccharides solubles dans l'eau (gommes)	1-1,5
○ Polysaccharides solubles dans les solvants organiques (hémicelluloses)	8-10
○ Cellulose	4-5
○ Autres	1
<b>Lipides</b>	2-3
<b>Protéines</b>	8-11
○ Albumines	0,5
○ Globulines	3
○ Hordéines	3-4
○ Glutélines	3-4
○ Acides aminés et peptides	0,5
<b>Acides nucléiques</b>	0.2-0.3
<b>Sels minéraux</b>	2
<b>Autres dont lignine ...</b>	5-6

1. **Les glucides** : Dans le grain d'orge, les glucides se présentent sous forme de :

- Sucres simples comme le glucose et le fructose qui se trouvent en faibles quantités (0.2%) (**Jilal, 2011**).
- Saccharose et de raffinose au niveau de l'embryon (**Hariri, 2003**).

- Polysaccharides dont l'amidon et les fibres alimentaires

### 1.1 L'amidon

C'est le constituant majeur des glucides de l'orge et représente par conséquent la source principale d'énergie. Il représente 63-65% du poids sec d'un grain d'orge et se localise principalement dans l'endosperme. Il est constitué de deux polymères de D-glucopyranose :

- 25 % d'amylose, de structure linéaire, avec des liaisons de type  $\alpha$  (1-4) regroupant 500 à 2500 unités de D-glucose.
- 75% d'amylopectine formée par la polymérisation du D-glucose, lié par les liaisons  $\alpha$  (1-4) et quelques liaisons  $\alpha$  (1-6) qui est à l'origine des ramifications. Ces dernières représentent environ 5 à 6% du nombre total de liaisons (**Koehler et Wieser, 2013**).

A maturité, l'amidon de l'orge se présente sous forme de deux types de granules, qui ont une structure semi-cristalline. Les gros granules d'amidon (Type-A), de diamètre compris entre 10 et 25  $\mu\text{m}$  de forme arrondie, représentent 10% du nombre de granules et 90 % du poids de l'amidon. Ils ont une température de gélatinisation de 61-62°C. Les petits granules d'amidon (Type-B), de diamètre compris entre 1 et 5  $\mu\text{m}$  représentent 90 % du nombre de granules et 10 % du poids de l'amidon, et ont une température de gélatinisation de 75-80°C (**Jilal, 2011 ; Buleon et al. 1998**).

L'amidon est constitué de granules de différentes tailles. La distribution de la taille des granules est corrélée à la dureté du grain. En effet plus les variétés sont dures plus la quantité de petit granules (type B) est importante et possédant un temps de chute de Hagberg très faible (**Reaker et al., 1998 ; Capoutchova et al., 2003**). La dureté reflète l'état de texture du grain et de la cohésion des particules dans l'albumen. Selon l'état de dureté, les orges sont classées sur une échelle croissant de dureté du type faible à fort.

### 1.2. Les fibres alimentaires

Les fibres alimentaires sont des polymères glucidiques avec un degré de polymérisation (DP) non inférieur à 3, qui ne sont ni digérés ni absorbés dans l'intestin grêle. Le degré de polymérisation non inférieur à 3 est destiné à exclure les mono- et disaccharides. Il ne vise

pas à refléter le DP moyen d'un mélange. Les fibres alimentaires sont composées d'un ou plusieurs :

- Groupe de polymères glucidiques comestibles, présents naturellement dans l'aliment tel qu'il est consommé.
- Groupe de polymères glucidiques, qui ont été obtenus à partir de matières alimentaires brutes par des moyens physiques, enzymatiques ou chimiques.
- Groupe de polymères glucidiques synthétiques.

Bien que les fibres alimentaires soient connues depuis plus de 2000 ans sous différents termes (par exemple, son et fourrage grossier), le terme "fibre alimentaire" est apparu pour la première fois en 1953 et faisait référence à l'hémicellulose, la cellulose et la lignine. Le terme "fibre" est quelque peu trompeur, car seule une fraction (la cellulose) des fibres alimentaires est de nature fibrillaire. Pour corriger cette erreur, d'autres termes (par exemple, plantix) ont été proposés, mais malgré ces efforts, le terme "fibre alimentaire" a survécu (**Mongeau et Brooks, 2016**).

Les céréales constituent la première source de fibres dans l'alimentation. Le taux des fibres peut atteindre jusqu'à 17% de grains d'orge complet (**Fichier canadien sur les éléments nutritifs, 2010**). Il est possible de séparer les fibres alimentaires totales (FAT) en composants solubles et insolubles sur la base de leur solubilité dans l'eau. On y trouve :

- Les fibres insolubles comme l'hémicellulose, la lignine et la cellulose. Cette dernière est concentrée dans les glumelles, le péricarpe et la couche d'aleurone. Elle représente 4 à 5 % du poids sec du grain d'orge (**Sullivan, 2010**). L'hémicellulose comprend les pentoses (d-xylose et l-arabinose), des hexoses (d-mannose, d-galactose et d-glucose), des acides hexuroniques (acide 4-O-méthyl-d-glucuronique, acide d-glucuronique et acide d-galacturonique) et des groupes acétyle, ainsi que de petites quantités de l-rhamnose et de l-fucose. Ces groupes fonctionnels peuvent s'assembler en une série de polysaccharides d'hémicellulose aux structures diverses, linéaires ou hautement ramifiées, comme les xylanes, les mannanes, les xyloglucanes, les b-1,3 ; 1,4-glucanes et les galactanes. 6 L'abondance et les structures détaillées de ces polysaccharides d'hémicellulose varient considérablement selon les sources de biomasse (**Zhou et al., 2017**).

- Les fibres solubles comme le  $\beta$ -Glucane, constituant principale des parois cellulaires se trouvant dans l'endosperme et la couche d'aleurone. Il représente 5 à 11% du poids sec du grain d'orge (**Sullivan, 2010**).

## 2. Lipides

Les lipides représentent une faible proportion du grain, généralement 2 à 3%. Ces lipides se répartissent en :

- Les lipides apolaires (lipides de réserve du grain) : mono, di et triglycérides, et des acides gras libres essentiellement localisés en petites quantités au niveau de l'embryon de l'endosperme, de la couche à aleurone et du péricarpe (**Hariri, 2003 ; Saulnier, 2012**).
- Les lipides polaires (lipides de structure du grain) : phospholipides et glycolipides essentiellement (**Saulnier, 2012**). Certains sont libres, mais la majorité est associée aux protéines et à l'amylose (**Koehler et Wieser, 2013**). Les granules d'amidon contenant des quantités plus petites de lipides polaires seront plus faciles à dégrader par les enzymes (**Hariri, 2003**).

## 3. Protéines

La teneur en protéines des grains d'orge est de l'ordre de 10 à 17% (**Czuchajowska et al., 1998 ; Izydorczyk, et al., 2000**), avec des variations assez importantes en fonction des particularités génétiques, des variétés et des conditions de culture. La répartition des protéines dans le grain de céréales n'est pas uniforme : la couche à aleurones comporte 30 à 35 % de protéines, le germe 35 à 40 % mais le péricarpe et l'albumen amylicé contiennent respectivement 6 à 7 % et 6 à 9 % (**Popineau, 1985**). Globalement et compte tenu de l'importance pondérale relative des différentes parties du grain, 87% des protéines se trouvent dans l'albumen et la couche à aleurone.

Selon **Courvoisier (1984)** les protéines solubles sont essentiellement synthétisées et accumulées au niveau de la couche à aleurone pauvre en protéines insolubles et en grain d'amidon. Les protéines de réserve sont accumulées à l'intérieur des membranes endoplasmiques granuleux dès leur synthèse.

### 3.1. Les protéines solubles de l'orge

Ce sont des protéines cytoplasmiques ou métaboliques ayant certaines activités enzymatiques. Elles se localisent dans l'embryon et dans l'endosperme. Elles sont pauvres en acide glutamique et en proline. On distingue :

- Les albumines : elles représentent 3 à 4% des protéines totales. Elles portent le nom *Leucosine*. Elles sont coagulables par la chaleur, de poids moléculaire (PM) compris entre 100000 à 300000 daltons (Da), elles se caractérisent par leur richesse en acides aminés basiques, surtout la Lysine et l'Arginine.
- Les globulines : elles représentent 10 à 20% des protéines totales. Elles portent le nom *Edestine*. Leur masse moléculaire se situe aux environs de 100000 Da avec des constituants de masse supérieure à 200000 Da. Elles ont une composition proche de celle des albumines avec un taux plus élevé en Lysine et Arginine et un taux plus faible en Tryptophane et acides aminés amides (**Wilhelm, 1998 ; Shewry et Casey, 1999**).

### 3.2. Les protéines insolubles ou protéines de réserve

Elles sont constituées de glutélines et de prolamine. Elles se localisent dans l'albumen et sont très riches en glutamine et en proline (**Wilhelm, 1998 ; Shewry et Casey, 1999**).

Elles jouent un rôle très important sur le plan technologique en effet c'est l'agglutination de ces protéines qui forme le gluten, produit doué de propriétés visqueuses et élastiques, qui réfère aux farines et aux pâtes qui en résulte leurs propriétés viscoélastiques. A cet égard, la qualité culinaire de différentes pâtes est généralement appréciée par la qualité et la quantité de ces protéines.

- Les Gluténines :

Selon **Gordon (1991)**, On distingue trois types de gluténine d'orge. Celle dont la masse moléculaire des agrégats est supérieure à 20000 Da avec une composition de type albumine et globuline, celle dont la masse moléculaire est comprise entre 100000 et 200000 Da et celle dont la masse se situe entre 25000 et 50000 Da. Elles assurent au gluten ses caractéristiques élastiques, sa cohésion et sa résistance aux déformations.

- Les Prolamines (Hordéines) :

Les hordéines représentent la fraction la plus importante, environ 50% des protéines totales (**Vapal et Radovic, 1998**) et 35 à 45 % selon **Shewry et al., (1977)** ; **Bourdet, (1956)**. Elles sont les plus abondantes dans les endospermes des céréales (**Shewry, 1995**). Elles sont riches en proline et en glutamine (**Shewry et Tatham, 1990**). Elles apportent à ce produit ses caractéristiques visqueuses (fluidité, extensibilité). L'immunocytochimie a montré que les hordéines sont situées dans la matrice intergranulaire de l'albumen et peuvent être ponctuellement associées aux granules d'amidon (**Benetrix, 1998**). Le poids moléculaire (PM) de ces polypeptides est de l'ordre de 43000 et 94000 Da. Plusieurs classifications ont été attribuées aux hordéines :

- Selon leur mobilité électrophorétique et leur PM On les a classés en premier temps en 03 groupes les B, les C et les D Hordéines (**Shewry et al., 1983**). **Shewry et al., 1985**. **Qi et al., (2006)**, ont distingué une quatrième fraction : Les  $\gamma$  Hordéines.

- selon leur composition en acides aminés : Elles sont classées en trois groupes :

1- Les hordéines pauvres en soufre (C-hordéines).

2- Les hordéines riches en soufre (B et  $\gamma$ Hordéines).

3- Les hordéines à haut poids moléculaires possédant des quantités intermédiaires de soufre (D- Hordéines) (**Shewry et Tatham, 1990**).

- **Les C-Hordéines** : Les C-Hordéines sont des monomères dont le PM varie de 55000 à 70000 Da (Shewry et Tatham, 1990). Elles sont constituées des deux parties N-terminal et C-terminal composées respectivement de 12 et 6 résidus d'acides aminés flanquant une partie centrale qui renferme un grand nombre de séquences répétées dont le motif est Pro-Gln-Gln-Pro-Phe-ProGln-Gln (**Shewry et Tatham, 1990**).

- **Les B-Hordéines** : Les B-Hordéines représentent 80-90% des hordéines de l'orge et  $\gamma$ 0-40% de l'azote total du grain d'orge (**Shewry et al, 1985**). Elles se trouvent sous forme de monomères ou de polymères résultant de l'association de différents monomères par les liaisons de disulfure (**Vapa et Radovic, 1998**). Les B-Hordéines sont des polypeptides riches en glutamate et en proline et dont le PM est compris entre 36000 et 44000 Da. La partie N-terminale est constituée de séquences répétées riches en proline. Par contre la partie C-

terminale est composée en grande partie de Cystéines. C'est ce composé qui confère au  $\beta$ -Hordéines leur richesse en soufre (**Shewry et Tatham, 1990**).

- **Les  $\gamma$ -Hordéines** : Les  $\gamma$ -Hordéines se trouvent sous forme de monomères et de polymères. Dans les gels d'Electrophorèse, elles ressemblent aux B-Hordéines par leur configuration et leur mobilité électrophorétique. Les recherches faites sur les  $\gamma$ -Secalines et les  $\gamma$ -Hordéines indiquent que ces deux derniers ont la même structure que les  $\gamma$ -Gliadines (**Shewry et Tatham, 1990**). La partie N-terminale est constituée de 12 résidus suivie de séquences répétitives dont le motif est Pro-Gln-Gln-Pro-Phe-Pro-Gln, puis de la partie C-terminale qui est riche en Cystéine. Dans les gels d'électrophorèse, les  $\gamma$ -Hordéines ressemblent aux B-Hordéines par leur configuration et leur mobilité électrophorétique (**Rechinger et al., 1993**).

- **Les D-Hordéines** : Les D-Hordéines sont des monomères constitués d'une seule chaîne polypeptidique. Elles sont riches en Glycine, en Glutamine et en Proline. Leur structure est composée de deux parties N-terminale et C-terminale englobant une partie centrale formée de séquences répétées. La masse moléculaire des D-Hordéines a connu de très grandes variations d'un chercheur à l'autre selon la technique utilisée et les conditions de réalisation de cette dernière. Le PM varie de 83000 à 91000 Da (**Blake et al., 1984**). Les hordéines sont codées par des gènes situés sur le chromosome 5 et peuvent être utilisés comme marqueurs génétiques pour l'identification des variétés d'orge. Elles ont, à cet effet, fait l'objet de plusieurs études biochimiques : Electrophorèse sur gel d'amidon, Acide-Page, Isoélectrofocalisation, Electrophorèse bidimensionnelle et Electrophorèse monodimensionnelle sur gel de polyacrylamide en présence de Sodium Dodécyl Sulfate (SDSPAGE) qui reste à nos jours la méthode la plus utilisée (**Heisel et al., 1986**).

#### 4. Les minéraux

Le grain d'orge est une véritable source de minéraux comme le Potassium, le Phosphore, le Magnésium, le Calcium et spécialement le Sélénium. Ces minéraux des grains peuvent contribuer significativement à l'apport dans la ration alimentaire (**Saulnier, 2012**).

#### 5. Les Composés Phénoliques

L'orge contient plusieurs composés phénoliques, un autre type d'antioxydants. Parmi ces divers composés, les flavanols (appartenant à la famille des flavonoïdes) seraient ceux qui se

trouvent en plus grande proportion dans les grains d'orge, pouvant atteindre une quantité totale d'environ  $\beta 55 \mu\text{g/g}$  selon la variété du grain (**Goupy et al., 1999**).

## 6. Les vitamines :

Le grain d'orge est très riche en vitamines notamment les vitamines B1, B2, B3, B5, B6, B9 et la vitamine E (*Tocotriénols*). En effet L'orge contient toutes les variantes différentes de la vitamine E, pour un total d'environ 75 mg/kg de poids sec. Parmi ces divers composés, la plus grande proportion (environ 80 %) est constituée de *Tocotriénols*, des antioxydants qui pourraient être plus puissants que les tocophérols, une autre forme de vitamine E (**Panfili et al., 2003**). Les vitamines du grain d'orge sont concentrées dans l'embryon, La couche d'aleurone et dans l'endosperme (**Koehler et Wieser, 2013**). Les vitamines B se localisent principalement dans l'embryon et la couche d'aleurone. Pour les Tocophérols, elles se trouvent exclusivement dans le tissu du germe.

## 7. Les enzymes

Dans le grain d'orge, les enzymes se localisent dans le germe et la couche à aleurone ou elles sont synthétisées pour la plus parts au cours de la germination du grain. Selon leur rôle on y trouve :

- Les enzymes dégradant l'amidon

Ce sont les enzymes dites amylolytiques. On y distingue dans l'orge quatre ensembles : l' $\alpha$ -amylase, la  $\beta$ -amylase, la dextrine limite et l' $\alpha$ -glucosidase.

- L' $\alpha$ -amylase est une endoenzyme synthétisée dans la couche à aleurone au cours de la germination. Elle libère du glucose et des oligosides de 2 à 7 unités de glucose.
- La  $\beta$ -amylase est une exoenzyme synthétisée au cours de la croissance et la maturation du grain. Elle hydrolyse les chaînes d'amidon (liaisons  $\alpha$  (1-4)).

L'action des  $\alpha$  et  $\beta$  amylases permet la conversion de l'amidon en glucose, maltose et dextrines contenant les liaisons  $\alpha$  (1-6) qui sont hydrolysées par la dextrine limite.

- Les enzymes dégradant les protéines :

On note l'existence de plusieurs enzymes protéolytiques tels que l'endopeptidase qui dégradent les protéines en peptides et polypeptides et les carboxypeptidases qui dégradent les polypeptides en acides aminés.

- Les enzymes dégradant les lipides :

L'hydrolyse des lipides est réalisée par les lipases qui sont localisées dans les couches extérieures des grains non germés.

- D'autres enzymes sont à citer comme les pentosonases, les hemicellulase, les  $\beta$ glucanase qui dégradent les  $\beta$ -glucanes des parois cellulaires de l'endosperme, les polyphénoloxydase qui catalysent l'oxydation des polyphénols et qui sont concentrées dans les parties périphériques du grain (**Abouni, 2015**).

## 1.2.4 L'intérêt nutritionnel de l'orge

### 1- Composition des nutriments de l'orge

Le grain d'orge est constitué de 65-68% d'amidon, de 10-17% de protéines, 4-9% de  $\beta$ glucanes, 2-3% lipides et de 1,5-2,5% de minéraux (Kamel et al., 2013). L'intérêt de l'utilisation alimentaire se concentre en grande partie autour des effets des nutriments de l'orge : des fibres alimentaires (les  $\beta$ -glucanes), des vitamines (B1, B2, B6, B12), particulièrement la vitamine E et certains minéraux (K, Ca, Fe, P, Mg et Zn). Il contient également des composants bénéfiques pour la santé, dont les antioxydants principalement les composés phénoliques, les tocophérols et des tocotriénols. Parmi les céréales, l'orge est le grain principal pour le développement des nourritures fonctionnelles car il contient deux composés de vif intérêt alimentaire : tocols (vitamine E) et fibres de  $\beta$ -glucanes. (**Finocchiaro et al., 2005**)

### 2- Les bienfaits

Le grain d'orge est une excellente source de fibres alimentaires ( $\beta$ -glucanes et les arabinoxylanes). Les  $\beta$  glucanes, principaux constituants des fibres de l'orge, ont été liés à la

baisse du cholestérol plasmatique, à l'amélioration du métabolisme des lipides et à la réduction de l'indice glycémique. Ces fibres sont donc des composés intéressants dans le traitement nutritionnel des maladies cardiovasculaires et du diabète de type 2. (**Marlett et al., 2002**).

Les arabinoxylanes peuvent aussi avoir des propriétés antioxydant à cause de la présence des fragments phénoliques dans leurs structures moléculaires (**Madhujith et al., 2006**).

En 2005, la Food and Drug Administration des États-Unis a modifié son allégation santé relative aux effets de la fibre soluble d'avoine sur le risque de coronaropathie de manière à inclure l'orge comme pour le  $\beta$ -glucane d'avoine, il suffit de consommer 3 g par jour de  $\beta$ -glucanes d'orge pour obtenir une réduction du cholestérol sérique total et du cholestérol LDL. Plusieurs études ont démontré l'effet hypocholestérolémiant de l'orge. D'après une étude cet effet agit selon trois mécanismes ; Absorption réduite de lipides diététiques incluant cholestérol et de l'acide biliaire. Les quantités d'acides biliaires mesurées dans les contenus intestinaux ainsi que le coefficient d'efficacité de l'absorption intestinale calculé au moyen du drainage biliaire montrent tous deux une diminution globale de l'absorption intestinale des acides biliaires avec des différences importantes selon l'acide biliaire et production d'acides gras volatils dans le gros intestin qui sont réabsorbés et agissent comme les inhibiteurs de coenzyme A (HMG-CoA) réductase dans le foie (**McIntosh et Oakenfull, 1990**).

La consommation de bêta-glucanes d'orge (son d'orge, flocons d'orge, orge perlé) a entraîné une diminution des concentrations sanguines de cholestérol total et de cholestérol LDL (**Lupton et al., 1994 ; Behall et al., 2004**).

L'orge est une excellente source de fibres insolubles importantes pour maintenir la santé digestive et protéger contre le cancer du côlon. Chez des personnes en santé, des chercheurs ont observé que la consommation d'une diète contenant de l'orge augmentait le volume des selles ils rappellent également qu'il y aurait une relation entre un volume de selles plus élevé et une diminution du risque de cancer du côlon. Cette propriété est l'une des caractéristiques notables des aliments riches en fibres alimentaires (**Li et al., 2003**). La recherche a également démontré que les  $\beta$ -glucanes de l'orge diminuent les niveaux de glucose sanguin, ce qui est important dans la prévention et la gestion du diabète de type 2 et augmente la satiété, ce qui favorise la gestion du poids (**El Khoury et al., 2012 ; King et al., 2008**).

**Jood et Kalra, (2001)** rapportent dans une étude publiée dans le Journal américain de Gastro-entérologie que des produits alimentaires riches en fibre insoluble comme l'orge permettent d'éviter des calculs biliaires chez la femme. Cette propriété est l'une des caractéristiques notables des aliments riches en fibres alimentaires.

Plusieurs recherches ont aussi attribué aux fibres de l'orge un effet bénéfique sur la tolérance au glucose chez des personnes en santé, des personnes avec un surplus de poids, ainsi que chez des diabétiques de type 2. Ces études ont en effet démontré que la consommation de différents produits à base d'orge (grains, farine, flocons) atténuait l'augmentation des concentrations sanguines de glucose et d'insuline après un repas (**Behall et al., 2005 ; Rendell et al., 2005 ; Arun et al., 2010**).

L'orge possède également des niveaux élevés de tocotriénols et des composés phénoliques, lesquels ont démontré une réduction du risque de maladie cardiaque coronarienne, du diabète et de certains cancers. Une vaste revue de littérature scientifique sur les effets des tocotriénols indique que plusieurs études chez l'humain lui ont attribué une capacité d'inhiber la prolifération de cellules cancéreuses, principalement celles du sein (**Sen et Roy, 2004**). L'orge contient plusieurs composés phénoliques (flavanols, appartenant à la famille des flavonoïdes) antioxydants. Une étude *in vitro* a observé des effets bénéfiques en exposant des cellules cancéreuses à un type de flavanol extrait du son d'orge, et les auteurs de l'étude voient en cette céréale un intérêt potentiel pour contribuer à la prévention du cancer (**Goupy et al., 1999**).

L'orge est une bonne source de plusieurs vitamines et minéraux essentiels, notamment la thiamine, la niacine, les folates, la riboflavine, le fer, le phosphore, le magnésium, le zinc et le sélénium, tous étant importants pour maintenir une bonne santé.

L'orge est aussi une bonne source d'acide nicotinique, une vitamine B qui fournit de nombreuses actions protectrices contre des facteurs de risque cardiovasculaire. L'acide nicotinique contribue à réduire les niveaux du cholestérol total et la lipoprotéine (Lp). Cette dernière est une molécule composée de protéine et de graisse, se trouvant dans le plasma sanguin, et plus dangereuse que le LDL. La choline est une substance nutritive très importante dans l'orge. Elle maintient la structure des membranes cellulaires, à la transmission d'impulsions nerveuses et réduit

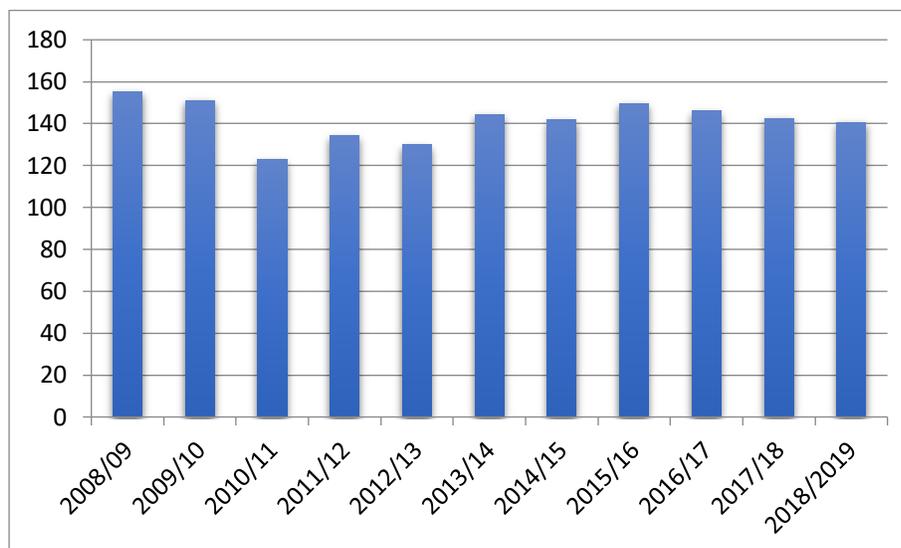
l'inflammation chronique. L'orge est une source de magnésium, un minéral qui agit comme cofacteur pour plus de 300 enzymes, y compris des enzymes impliquées dans le corps humain pour la sécrétion d'insuline et de glucose (**Jood et Kalra, 2001**).

Cependant le magnésium joue un rôle essentiel dans plusieurs réactions cellulaires fondamentales. Il est impliqué dans de nombreux mécanismes enzymatiques pour la synthèse d'acide désoxyribonucléique (ADN) et d'acide ribonucléique (ARN) (**Galan et al., 2002**).

Il joue aussi un rôle dans le métabolisme de l'énergie et dans la transmission de l'influx nerveux. L'orge est une source de zinc. Ce dernier participe notamment aux réactions immunitaires, à la fabrication du matériel génétique, à la perception du goût, à la cicatrisation des plaies et au développement du fœtus. Il interagit également avec les hormones sexuelles et thyroïdiennes. Dans le pancréas, il participe à la synthèse (fabrication), à la mise en réserve et à la libération de l'insuline (**Alais et Linden, 1991**). L'orge est une source de fer. Chaque cellule du corps contient du fer. Ce minéral est essentiel au transport de l'oxygène et la formation des globules rouges dans le sang. Il entre dans la construction de l'hémoglobine, de la myoglobine et de nombreux systèmes enzymatiques (**Alais et Linden, 1997**).

### 1.2.5 Production mondiale

La quantité d'orge produite dans le monde au cours des années 2008/2009 à 2018/2019 a beaucoup fluctué : le volume le plus élevé a été atteint lors de la campagne agricole 2008/2009, où plus de 155 millions de tonnes ont été produites, par rapport à la production la plus faible d'environ 120 millions de tonnes qui a été atteinte en 2010/2011 (Figure 12).



**Figure 11** : Production mondiale d'orge de la compagne 2008/2009 à la compagne 2018/2019 (en millions de tonnes) (FAO, 2019).

### 1.2.6 Production Algérienne

En Algérie, les céréales sont très importantes du point de vue agronomique, socio-économique et culturel. En effet, les céréales occupent la plus grande superficie agricole cultivée et représentent le premier aliment de base de la population algérienne. La sole céréalière de l'Algérie est restée presque constante avec une moyenne comprise 2.7 millions d'hectares. L'orge occupe la deuxième place après le blé dur. Sa superficie varie annuellement de 300.000 à 1.600.000ha, c'est-à-dire 35 à 40 % de la superficie réservée aux grandes cultures (Benmohammed, 2004).

### 1.2.6 La mouture

Deux étapes nécessaires à réaliser pour la préparation des grains d'orge avant de commencer la mouture.

- **Nettoyage**

Les grains issus de la moisson ne peuvent pas être utilisés sans un nettoyage initial.

Après leur lavage dans l'eau courante d'un torrent ou d'un canal d'irrigation, ils sont triés soigneusement pour éliminer les dernières impuretés : poignée, après poignée. Ils sont examinés et déplacés rapidement avec l'index sur un plateau ou sur une toile.

Le tri fini, ils sont prêts à subir les transformations requises pour leur utilisation alimentaire.

- **Grillage**

L'orge est d'abord mise à tremper dans de l'eau pendant environ deux heures, puis elle est rincée et étalée sur un drap de laine pour sécher au soleil avant d'être grillé au sable.

On chauffe vivement sur un feu ouvert une poêle- calotte contenant un lit de sable fin. Quant celui-ci est brûlant, on dépose dessus une petite quantité d'orge (environ 300g pour un ustensile de 50 cm de diamètre).

Que l'on étale à la surface de sable à l'aide d'une spatule. Peu après, la poêle- calotte est sortie du feu avec son contenu. Les grains et le sable sont alors proprement mélangés grâce aux mouvements vifs que l'on donne au récipient tenu à deux mains. Les grains saisis grillent et éclatent légèrement, avec un crépitements caractéristique. Avec un tamis de tôle, le mélange est ensuite criblé plus en moins rapidement. La séparation du sable et des grains interrompt le cours de la cuisson. Ceci permet de moduler le degré souhaité de grillage en fonction de l'utilisation ultérieure des grains. Il existe une variante rapide de grillage qui se fait sans le sable.

Ce processus de grillage est répété jusqu'à épuisement de la quantité d'orge nécessaire aux futurs besoins.

- **La mouture**

Les grains grillés sont ensuite broyés au moulin.

La mouture suivie à un criblage avec un tamis de certain diamètre, le criblage de cette mouture, sépare l'ibrin (reste du criblage) de la farine (**Chastan, 2010**).

## *Chapitre 02*

### *2. Technologie biscuitière*

## 2.1 Historique des biscuits

L'industrie de la biscuiterie prend naissance en Angleterre vers 1815. La société Carr et Cle de Carlisle est la première à appliquer les procédés mécaniques grâce auxquels le biscuit anglais connaîtra une vogue extraordinaire et une expansion considérable. Bientôt suivent les biscuiteries MacFarlane d'Edimbourg 1817 et Huntley & Palmers de Reading, Près de Londres 1826.

En 1860, l'Angleterre exporte les biscuits secs dans toutes ses colonies, en France et dans tous les pays où il y a des buveurs de thé.

Le premier type de biscuit réputé mondialement est l'Albert, appelé ainsi en l'honneur de l'époux regretté de la reine Victoria.

Depuis l'immigration massive de marins britanniques et néerlandais – grands consommateurs de biscuits-, cette denrée composée surtout de farine qui occupe une place importante dans l'alimentation nord-américaine, et notamment dans l'alimentation du groupe anglo-saxon. La production de blé en très grande quantité en Amérique a créé le besoin d'une industrie de transformation (**Armand et Germain, 1992**).

## 2.2 Définition des biscuits

Biscuit, ce terme français, signifie (bi-cuire) c'est-à-dire cuire deux fois dans un procédé qui exigeait de cuire les pâtons comme le pain puis placés dans les compartiments au-dessus de four pour réduire leur teneur en humidité.

C'est un aliment de réserve peu coûteux et facile à transporter et à conserver. Le biscuit était principalement composé de farine, de sucre, de sel, et d'eau. Aujourd'hui, la farine de blé tendre

est plus adaptée pour la fabrication des biscuits et de plus l'incorporation d'une substance chimique de levée au lieu de la levure boulangère.

Pour l'amélioration de la valeur nutritionnelle des biscuits, les biscuiteries modernes utilisant l'avantage de son de blé, de farine de blé entier, de flocons d'avoine et de farine de base multi-céréalière.

Généralement la pâte biscuitier riche en matières sucrantes et en gras (40% de sucre et 10% de gras) (**Armand et Germain, 1992**).

### 2.3 Classification des biscuits

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

Mais les biscuits peut être classés selon :

- La consistance de la pâte avant la cuisson

#### 1- Pâte dure ou semi-dure :

Elle est utilisée pour la fabrication des biscuits secs sucré et salés sans œuf qui représente environ 60% de la consommation de biscuits. Exemple : Casse-croûte, sablés, petit beurre, ...etc.

#### 2- Pâte molle :

Cette pâte est riche en matières grasses et en œufs. On peut obtenir à la fois des biscuits secs tel que les boudoirs, langues de chat et d'articles moelleux comme les génoises, madeleines, cakes et les macarons.

Les produits à pâtes molles représentent environ 26.5% de la consommation biscuitiers.

#### 3- Pâte gaufrettes :

Sont les pâtes qui ont une forte teneur en lait ou en eau et contiennent peu de matières grasses, ces pâtes représentent 10.5% de la consommation (**Maache-Ressougel et al., 1998 ; Manohar et Rao, 2002**).

- Leur richesse :

De point de vue nutritionnel les biscuits se classent en trois catégories :

- Riches en glucides complexe (biscuits sec)
- Riches en glucides simples (génoises, biscuits aux œufs)
- Riches en lipides (cookies, biscuits sablés, biscuits chocolatés) (**Feillet, 2000**).

## 2.4 Cookies historique et origine

Les gâteaux somptueux étaient bien connus dans l'Empire perse. Selon What's Cooking America, on pense que les premiers gâteaux de style cookie remontent à la Perse (l'Iran moderne) au 7ème siècle de notre ère, vers la fin de sa gloire (**Stradley, 2004**).

Les boulangers fabriquaient des gâteaux et des pâtisseries de luxe pour les riches. Avec l'invasion musulmane de la péninsule ibérique au VIIIe siècle, suivie des croisades (1095 à 1291), les techniques de cuisson et les ingrédients de l'Arabie se sont répandus dans le nord de l'Europe. Les livres de cuisine de la renaissance, qui ont commencé en Italie au 14ème siècle et se sont répandus dans le reste de l'Europe, sont remplis de recettes de biscuits. Dès la fin du XIVe siècle, on pouvait acheter de petites gaufrettes fourrées dans les rues de Paris. Mais au cours des siècles précédents, alors que les gâteaux étaient cuits pour le plus grand plaisir de tous, ce qui est devenu notre biscuit n'était pas à l'origine fait pour plaire aux gourmands. Selon les historiens culinaires, le premier enregistrement historique de cookies a été utilisé comme gâteaux de test. Une petite quantité de pâte à gâteau a été déposée sur des moules à pâtisserie pour tester la température du four avant la cuisson du gâteau. Chaque langue a son propre mot pour cookie. Aux Pays-Bas, le petit gâteau d'essai s'appelait un koekje, "petit gâteau" en néerlandais (un gâteau c'est koek). Le concept a évolué vers de petites portions individuelles, qui ont été cuites pour créer les biscuits secs à texture dure que nous connaissons aujourd'hui. Une fois l'humidité éliminée, ils sont restés frais beaucoup plus longtemps que le gâteau.

Le mot britannique pour cookie, biscuit, vient du latin bis coctum, qui signifie "cuit deux fois" (également à l'origine du biscotti italien). Selon The Oxford Companion to Food, le terme « cookie » est apparu pour la première fois dans la presse vers 1703.

## 2.5 Composition nutritionnelle des biscuits

Le Tableau 07, issu du bilan sectoriel pour l'année 2008 de suivi de composition nutritionnelle par l'observatoire de la qualité de l'alimentation, présente les compositions nutritionnelles moyennes pour 100 g des nombreuses familles de biscuits et gâteaux français, ainsi que les écart-types observés, sur la base des données d'étiquetage nutritionnel récoltées pour plus de 1000 références vendues sur le marché français. D'après l'étude de l'Oqali, la variabilité des valeurs nutritionnelles observées au sein des biscuits et gâteaux s'explique en premier lieu par l'affectation en famille et la teneur en eau. Les familles de produits à plus faible humidité ont notamment une teneur énergétique plus élevée pour 100 g (biscuits secs), puisque tous les nutriments sont plus concentrés. Les teneurs moyennes pour 100 g sur l'ensemble du secteur biscuits et gâteaux sont respectivement de 460 kcal, 6,5 g de protéines, 64,5 g de glucides, 33,1 g d'amidon, 19,8 g de lipides, 9,5 g d'acides gras saturés (environ la moitié des lipides), 32,1 g de sucres, 3,6 g de fibres et 250 mg de sodium. Toutefois, le bilan de l'Oqali démontre que ces valeurs varient énormément selon les familles de biscuits et gâteaux et de manière différente selon les nutriments.

**Tableau 6:** Valeurs nutritionnelles moyennes de différentes familles de biscuits et gâteaux  
(Denis,2011).

Familles	Energie (kcal/100g)	Protéine (g/100g)	Sucre (g/100g)	Amidon (g/100g)	Lipide (g/100g)	Fibres (g/100g)
<b>Biscuits sec</b>						
Petit-beurre	443.2(±18.1)	7.2(±1.0)	22.9(±2.4)	48.5(±3.6)	14.0(±2.3)	2.4(±1.0)
Beurre sablés	485.9(±20.6)	6.5(±1.7)	25.7(±5.5)	39.5(±6.1)	22.0(±4.0)	3.5(±2.8)
<b>Biscuitschocolatés</b>						
Sandwichés						
Nappés	474.0(±22.3)	6.4(±0.8)	30.7(±5.0)	37.2(±6.1)	19.7(±4.3)	4.1(±2.3)
Cookies	499.1(±29.9)	6.8(±0.9)	31.7(±6.7)	30.9(±7.7)	24.6(±3.9)	3.2(±1.6)
	504.4(±16.9)	6.6(±1.1)	31.2(±4.4)	27.8(±3.5)	26.4(±2.3)	3.8(±2.2)
<b>Biscuits aux œufs</b>						
	386.6(±17.2)	7.8(±0.9)	49.0(±5.7)	24.6(±7.9)	6.2(±4.1)	1.9(±0.9)
<b>Madeleines</b>	460.4(±18.5)	5.9(±0.7)	28.0(nd)	28.5(±5.0)	23.9(±3.0)	1.3(nd)
<b>Pain d'épices</b>	320.6(±10.1)	2.9(±0.3)	45.7(±4.7)	27.3(±4.2)	1.3(±0.4)	3.1(±1.3)
<b>Gâteau moelleux</b>						
Fourré au chocolat	438.7(±19.4)	5.1(±1.0)	30.8(±5.0)	23.1(±5.7)	22.7(±3.1)	2.1(±0.4)
Marbré	437.8(±13.3)	5.7(±0.5)	28.0(±2.7)	22.1(±5.2)	23.4(±2.3)	2.0(±0.5)

Les aliments à base de céréales complétés sont de plus en plus reconnus comme facteur de santé et bien-être. Des études ont permis de constater que les bêta-glucanes (fibres) font baisser le cholestérol plasmatique, améliorent le métabolisme des lipides et réduisent l'indice glycémique (Rahal-Bouziane, 2015).

## 2.6 Ingrédients des biscuits

La recette de biscuit se compose d'ingrédients majeurs et mineurs. La farine, la graisse ou l'huile, le sucre, l'eau, les agents levants chimiques (bicarbonate de sodium, bicarbonate d'ammonium) sont les principaux ingrédients essentiels tandis que le sel, l'œuf, l'émulsifiant, le lait en poudre et les composés aromatisants servent d'ingrédients mineurs facultatifs (**Mancebo et al., 2015**).

### 2.6.1 La farine

La farine est l'un des principaux ingrédients des produits de boulangerie tels que, gâteau, biscuit. Il se compose principalement d'amidon, de protéines et d'eau avec des caractéristiques importantes pour la production de biscuits. Le niveau d'amidon et de protéines endommagés affecte les propriétés d'absorption d'eau de la farine. Contrairement au pain, les granules d'amidon ne forment pas un réseau de gel continu dans le système de biscuits, mais agissent plutôt comme une charge dans la matrice. De plus, la teneur en humidité de la farine et la quantité d'eau ajoutée à la farine ont des effets différents sur les propriétés de la pâte à biscuits (**Pareyt et Delcour, 2008**).

Elle est responsable de la structure finale du produit. Son utilisation très répandue est liée à la capacité de la pâte à retenir le gaz permettant ainsi son expansion lors de la cuisson (**GAN et al., 1995**).

Traditionnellement, la farine de blé tendre contenant une faible teneur en protéines de 8 à 11 % est considérée comme une farine idéale pour la préparation des biscuits, car le gluten doit former un réseau minimal pour le laminage et la formation souhaitables de la pâte à biscuits. La farine de blé est le principal contributeur à la teneur en glucides complexes de biscuit qui entraîne une augmentation du taux d'obésité surtout chez les enfants. Par conséquent, la farine de blé est substituée ou parfois remplacée par les autres farines pour l'élaboration de biscuits riches en nutriments (**Kumar et al., 2016**).

### 2.6.2 Le sucre

Les substances sucrantes représentent dans le biscuit 20 à 35 % du poids des matières premières. Les matières sucrantes les plus utilisées sont : Saccharose et le Glucose (**JeunFrançois, 1994**). Le sucre, en plus de sa douceur, agit comme substance structurale et gustative, modifiant et améliorant. Le sucre se dissout totalement ou partiellement dans la pâte à biscuits, selon la disponibilité de l'eau, puis recristallise après cuisson. Pendant la cuisson, les cristaux de sucre non dissous fondent progressivement, ce qui entraîne l'étalement de la pâte et refroidit jusqu'à un état semblable à du verre non cristallin pour donner une texture croustillante et croquante au biscuit (**Hoseney, 1994**).

**Lia et Lin (2006)** ont observé une pâte moins étalée et plus de craquelures en surface avec des cristaux de sucre plus grossiers. La quantité de sucre utilisée montre également un effet significatif sur les caractéristiques organoleptiques du produit. Cependant, augmenter la quantité de sucre augmente la dureté et l'apparence du biscuit. De plus, un excès de sucre entraîne un ramollissement de la pâte avec une consistance et une cohésion réduites. Le sucre à forte concentration et à granulométrie plus fine contribue à l'étalement important du biscuit. Le sucre fragilise le produit en contrôlant l'hydratation, en dispersant les molécules de protéines et d'amidon pour éviter la formation d'une masse continue. Le saccharose est le plus couramment utilisé dans la cuisson des biscuits et il a un impact majeur sur les transitions de phase des bio polymères tels que l'amidon et le gluten (**Van der Sman, et Renzetti, 2019**).

### 2.6.3 La matière grasse

La matière grasse est le troisième plus grand ingrédient de la pâte après la farine et le sucre. Le biscuit dépend principalement de la graisse pour la tendreté et la sensation en bouche. Lors du mélange, la graisse inhibe l'hydratation et le développement du gluten. Il inhibe également l'action levante de la diffusion du dioxyde de carbone dans la pâte en formant une couche d'enrobage autour des particules de farine (**Davidson, 2016**).

La matière grasse donne au produit une texture "fondante en bouche" typique, friable, gustative et gustative. En général, le type de matière grasse et son pourcentage incorporé dans la

formulation influencent les propriétés finales du produit cuit. Les graisses les plus utilisées sont de type laurique, l'huile de tournesol à haute teneur en acide oléique ou l'oléine de palme. Les graisses telles que le beurre, la graisse végétale ou l'huile végétale sont généralement appelées shortenings. Le shortening lubrifie en empêchant l'adhérence des granules de gluten et d'amidon et devient tendre, plus doux avec une forme uniforme après la cuisson (**Mert et Demirkesen, 2016**).

Elle assure également l'aération, l'étalement et la qualité gustative. Une pâte contenant jusqu'à 10 % de matières grasses contient un biscuit de qualité gustative comparable. Du point de vue de la santé des consommateurs, un apport élevé en matières grasses dans l'alimentation est principalement associé à divers troubles de santé comme l'obésité, le cancer, l'hypercholestérolémie et les maladies coronariennes (**Pareyt et al., 2009**).

Afin de surmonter les troubles de santé indiqués ci-dessus, la graisse complète est remplacée ou substituée. Les substituts de graisse peuvent être classés comme étant à base de glucides, à base de protéines, à base de lipides, à base d'émulsifiants et à base de graisses synthétiques. Il a été rapporté que les substituts de graisse à base de glucides comme les dextrans, les amidons modifiés et les hydrocolloïdes imitent les graisses en liant l'eau et en procurant de la douceur et la sensation en bouche souhaitée. Ces substituts forment une matrice semblable à un gel en présence de niveaux substantiels d'eau, ce qui donne des propriétés de lubrification et d'écoulement similaires à celles des graisses (**Yackel et Cox, 1992 ; Sudha et al., 2007**).

#### **2.6.4 L'eau**

L'eau est un agent liant, elle est essentielle pour la formation de la pâte, est nécessaire pour la solubilisation des autres ingrédients, pour l'hydratation des protéines et les carbohydrates et pour le développement du réseau glutineux (**Fustier, 2006**).

Elle est aussi un facteur essentiel dans le comportement rhéologique des pâtes (**Maache et al., 1998**).

N'importe quelle augmentation de la teneur en eau modifie le module élastique et le module visqueux, et diminue la viscosité. S'il y a peu d'eau, la pâte devient fragile à cause de la déshydratation rapide de la surface (**Fustier, 2006**).

## 2.6.5 Les Autres ingrédients

### 1. Les émulsifiants

Les émulsifiants ou tensioactifs sont classés en ioniques et non ioniques. La lécithine, le monostéarate de glycérol, le stéaroyl-2 lactylate de sodium, le sorbitol, le propylène glycol et les esters d'acide diacétyltartrique de monoglycérides, les monoglycéridessaccinylés, les mono et diglycérides et certains complexes protéiques sont les émulsifiants utilisés dans les aliments. L'ajout de ces émulsifiants dans les produits de boulangerie améliore la qualité gustative. Traditionnellement, la lécithine est le plus couramment utilisée dans différents types de biscuits. Il est généralement dissous dans la graisse avant d'être ajouté à la recette. Il favorise la dispersion de la matière grasse dans la pâte semi-sucrée et améliore l'émulsification lors du crémage dans les pâtes brisées. Les taux d'utilisation de la lécithine peuvent être exprimés en fonction du poids de farine entre (0,5 et 1,0 %) ou du poids de matière grasse jusqu'à (2 %). Dans ces limites, la pâte serait lisse et il est possible de réduire la teneur en matière grasse de la pâte jusqu'à 10 % et d'obtenir également une bonne qualité gustative du biscuit (**Manley, 2011**).

### 1. Sel

Le sel est utilisé comme enduit superficiel et en décoration de biscuits salés. Selon le poids de la farine, la concentration en sel inférieure à 2 à 2,5 % donne un goût satisfaisant. Le sel durcit le gluten, augmente la consistance de la pâte en la rendant malléable et ralentit la fermentation et la réaction de Maillard. En outre, il favorise également la formation de croûte (**Moreira et al., 2011**).

## 2. Substances levantes

### 3.1. Bicarbonate de sodium

Un autre ingrédient important est les agents levants : groupe de sels inorganiques prédominants. L'ajout d'agents levants à la pâte produit les gaz levants qui sont responsables du développement de la texture dans un biscuit pendant la cuisson. Les agents levants chimiques les plus typiques sont la levure chimique (un mélange de bicarbonate de sodium et d'un acide), le pyrophosphate de sodium, le bicarbonate de sodium ( $\text{NaHCO}_3$ ) et le bicarbonate d'ammonium ( $\text{NH}_4\text{HCO}_3$ ). Le bicarbonate de sodium se solubilise et réagit avec les acidulants dans la pâte et produit du  $\text{CO}_2$  comme indiqué dans l'Eq.1 (Salemy, 2016).



### 3.2. Dextrose

Connu en tant que glucose est un monosaccharide ou sucre simple qui est au moins 20% sucré que le sucre de canne, il ne contient pas de fructose ou de lactose. Il constitue source de sucres directement fermentescibles. Il améliore la levée, la coloration extérieure et la durée de conservation des produits (Redjem et Derghal, 2016).

### 3.3. Bicarbonate d'ammonium

Il se décompose en produisant du gaz carbonique servant à la levée de la pâte et l'ammoniac entraînant une caramélisation plus intense des sucres par la chaleur (plus le dégagement de  $\text{CO}_2$  et  $\text{NH}_3$ ). Les produits auront une couleur brune plus foncée (Graf et al., 2006).

## 3. Les œufs en poudre

Les œufs apportent de la légèreté et du moussant aux recettes comme pour les madeleines, les génoises. Prenant couleur à la cuisson, ils permettent aussi de donner une couleur dorée aux biscuits. Les œufs, sous forme de poudre, moins sensibles aux attaques microbiennes et de stockage plus facile Propriétés fonctionnelles de certaines molécules constitutives des œufs : Aromatique, Colorant, Moussant (blanc), Émulsifiant (jaune) (Coutouly et al., 1998).

#### 4. La poudre de lait

Elle mouille la pâte, améliore la structure et la texture de la pâte, stimule la saveur acquise aux biscuits, accélère leur cuisson, et donne une couleur marquée (la présence de lactose). C'est un produit hautement nutritif équilibré. Elle contient des matières albuminoïdes (caséine), des matières grasses, des substances sucrées (lactose) et des substances minérales (**Coutouly et al, 1998**).

### 2.7 Effet de la composition sur les propriétés des biscuits

Les composants d'un biscuit sont ce qui déterminent sa qualité nutritionnelle et organoleptique chacun selon son effet sur le biscuit avant et après cuisson, il doit donc être utilisé avec des normes précises.

**A- Les matières grasses :** Jouent plusieurs grands rôles dans la technologie des biscuits elles accroissent la plasticité de la pâte ce qui se traduit par une diminution de la consistance sans ajouter de l'eau supplémentaire qu'il faudrait évaporer au cours de la cuisson, lors du mélange la graisse enrobe les particules de farine, ce qui inhibe l'hydratation et interrompt la formation du gluten, ont également tendance à inhiber l'action levante du carbone diffusion de dioxyde de carbone dans la pâte pendant la cuisson, ce qui produit une pâte plus molle, texture plus fine. Et donnent la friabilité du produit (**Kiger, 1967**).

Les matières grasses ont un coefficient de conductibilité thermique très élevé ce qui permet une transmission rapide de la chaleur à travers la pâte et empêchent toute tendance de collage de la pâte. Elles augmentent la valeur nutritionnelle des biscuits avec l'apport de calories supplémentaires. Et en fin, la matière grasse modifie le point de fusion de la pâte, ce qui change l'étendue, la taille et la forme d'un biscuit (**Kiger, 1967**).

**B- Les agents levants :** Comme le bicarbonate de sodium, est l'agent d'aération le plus important. Lorsqu'il est chauffé, il réagit avec les matières acides dans la pâte pour libérer du dioxyde de carbone et de l'eau.

**C- La farine :** C'est une source d'aliments hydrocarbonés pour les levures au cours de la fermentation. La farine participe à la réaction de Maillard par ses réactions avec les protides dans le développement de la couleur, de l'odeur et de la saveur des biscuits cuits. La farine joue un rôle important dans les caractéristiques mécaniques de la pâte et sur sa texture pour former la presque totalité du squelette final du biscuit (**Kiger, 1967**). Le gluten à l'état hydraté, former de longs fils dans la pâte, ce qui la rend élastique et extensible. En fait, le gluten est une protéine présente dans la farine qui aide la pâte à retenir l'eau et à maintenir la forme du biscuit pendant la cuisson (**Raoeliarijaona, 1988**).

**D- La farine d'orge :** A notre connaissance, très peu d'études se sont penchées sur l'influence de la farine d'orge sur la qualité des biscuits, Selon certaines études antérieures, la farine d'orge peut être utilisé comme substitut de farine de blé dans des quantités allant jusqu'à 50% sans détériorer de manière significative les propriétés sensorielles des cookies (**Sharma et Chopra, 2015**). De cette façon, les produits à haute valeur nutritive peut être obtenu, car cet ajout améliore la digestibilité des protéines, réduit l'acide phytique contenu et dissout les composés phénoliques liés, ce qui entraîne une biodisponibilité accrue de certaines vitamines (B et C) et minéraux (calcium, cuivre, manganèse et zinc) (**Arifet et al., 2011**). De plus, les composés phénoliques et les produits de la réaction de Maillard contribuent à une activité antioxydant accrue (**Carvalho, 2001**). En revanche, il existe des preuves qui peuvent à peine avoir des pro-oxydants activité en plus de l'activité antioxydant, principalement en raison de l'activité lipolytique accrue (**Boivin et al., 2007**). De plus, des quantités importantes d'acrylamide peuvent être produites pendant le touraillage et la torrification, ce qui doit être pris en compte lors de l'utilisation du farine d'orge comme supplément de farine de blé dans le composite farines pour la fabrication de biscuits (**Mikulíková, et al., 2015**). (**Marko et al., 2022**).

Cependant, lorsque l'on augmente la teneur en farine d'orge au-delà de ses limités les produits de boulangerie résultantes se révèlent plus durs, de couleur plus foncée et non de forme uniforme ; donc pain moins acceptable. Les résultats ont également suggéré qu'elle pain mélangé à de la farine d'orge a une teneur plus élevée en

protéines, matières grasses, fibres et cendres, mais une faible teneur en glucides (Ereifej, et al, 2006).

Les pâtes enrichies en b-glucane d'orge pourraient entraîner une réduction de la capacité de rétention de gaz et une éventuelle détérioration de la structure du réseau de gluten pendant la fermentation.

L'humidité de la mie diminue pendant le stockage (à mesure que l'humidité migre de la mie vers la croûte), donc la durcissant du produit est augmenter (Skendi, et al, 2010).

**E- L'eau :** En biscuiterie, l'eau joue plusieurs rôles. Elle fait gonfler le gluten lors de la confection de la pâte pour donner la consistance et les propriétés plastiques de cette dernière. S'évapore lors de la cuisson et contribue à la levée des pâtons. Limite l'aptitude au rancissement des biscuits par inhibition de la formation de peroxydes dans les matières grasses de la pâte (Randriamamplanina Onidera hajarivelo, 2009).

**F- Le sucre :** C'est l'un des ingrédients principaux des biscuits car il joue un rôle important dans les propriétés organoleptiques des biscuits.

Tout d'abord le sucre transmet à la pâte son goût sucré et donne la couleur dorée ou brune au biscuit après la cuisson par le phénomène de brunissement non enzymatique selon la réaction de Maillard.

Réaction de Maillard = Sucre simple + Acides aminés + Eau + Chaleur.....équation2

L'utilisation des sucres à cristallisation fine améliorer l'incorporation de l'air dans la pâte, donc elle participe de la stabilité et à la conservation des biscuits en étant un antioxydant qui bloque le rancissement des matières grasses qui participe à la solidification des biscuits après la cuisson et le refroidissement donc participe au maintien la forme du biscuit.

Enfin, après la cuisson le saccharose agit en tant qu'agent durcissant, en se cristallisant pendant le refroidissement du biscuit, ce qui fait du produit croustillant.

Lorsque l'augmentation de la concentration en sucre dans la formule crée des liaisons plus fortes entre les particules après cristallisation qui donne un biscuit plus dur avec une surface granuleuse (Mienard et al., 1992 ; Maacherzzoug et al, 1998).

- G- La poudre de lait :** Améliore la cuisson par sa matière grasse qui transmet mieux les calories. Il provoque aussi un blanchissement plus important des biscuits après la cuisson par une coloration plus modérée, homogène et agréable du lactose par rapport au glucose. Enfin, il améliore la qualité nutritive et diététique du produit fini. Les poudres de lait sont plus faciles à conserver que le lait frais d'où ses utilisations **(Kiger, 1967)**.
- H- Les œufs :** Contribuent à une meilleure texture, à la levée et ils prolongent la durée de conservation. Plus d'œufs égale un biscuit humide. Les œufs sont également essentiels pour la structure des biscuits. Ils contiennent environ 75 % d'humidité, 12 % de protéines, 10 % de matière grasses et 2% de sucre. Le blanc apporte force, stabilité et humidité. Les jaunes, où toute la graisse est contenue dans un œuf, augmentent la richesse, la tendreté et la saveur. Par conséquent, si vous mettez un œuf supplémentaire, vous obtiendrez un biscuit plus moelleux. Si vous en mettez moins, vous obtiendrez un biscuit plus friable.
- I- Le Sel :** C'est un exhausteur de goût, est un hygroscopique en fixant, retenant, captant l'humidité des pâtisseries et de l'air, et Il régularise la fermentation en ralentissant légèrement l'activité des cellules de levure. Ainsi Il renforce le gluten dans le cas des farines faibles en immobilisant une certaine quantité d'eau libre de la pâte **(Kiger, 1967)**.
- J- Les arômes :** sont des préparations concentrées, utilisées pour conférer une saveur (saveur + odeur) aux denrées. **(AE/30senso.doc/27/08/99)**

## 2.8 Procédé de fabrication des cookies

### 1- Livraison des ingrédients aux mélangeurs

Les principaux ingrédients seront livrés aux mélangeurs via des trémies de pesée et des systèmes de dosage de l'eau et d'autres ingrédients liquides. Les trémies de pesage au-dessus des mélangeurs sont montées sur des cellules de pesée et le système fonctionne en mesurant la « perte de poids ». Une vanne coulissante sous la trémie s'ouvrira pour permettre au matériau

d'être déposé dans le bol du mélangeur. Lorsque le poids correct de matériau a été livré, la vanne à tiroir automatique ferme l'orifice sous la trémie (Figure 12).

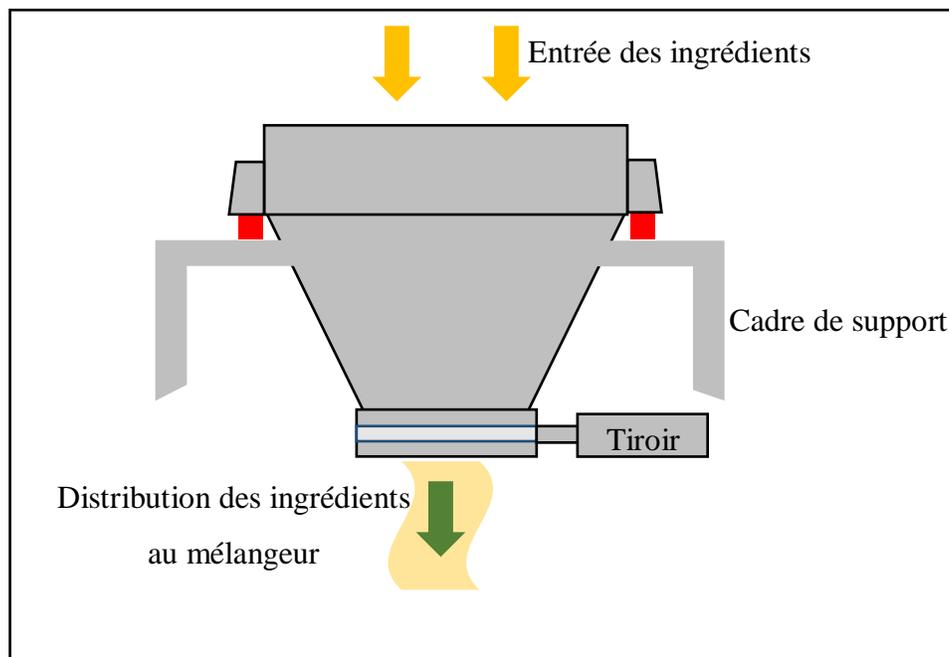
#### ❖ Ingrédients ajoutés

- Colorants, Arômes, Additives

Une variété de matériaux sous forme liquide et en poudre qui seront stockés à température constante selon les besoins. Ceux-ci seront généralement pesés et placés dans de petits récipients pour alimenter le mélangeur (**Iain Davidson, 2018**).

- Pépites de Chocolat

Gardez les pépites de préférence dans un endroit frais (18°C environ), à l'abri de la lumière, de la chaleur et de l'humidité. Seront généralement pesés et placés dans de petits récipients pour alimenter le mélangeur (**Iain Davidson, 2018**).



**Figure 12** : Processus de Distribution des ingrédients au mélangeur (**Iain Davidson, 2018**).

## 2- Processus de mélange

Le malaxage se fait en deux temps sur un malaxeur horizontal ou vertical. Une bonne dispersion de la matière grasse sur les particules de farine est importante et il doit y avoir une bonne proportion de matières grasses solides **(Iain Davidson, 2018)**.

Les ingrédients suivants sont mélangés délicatement à la première étape : l'huile de palme, sucre, eau, sel, œuf, vanille, et bicarbonate d'soude. Ces ingrédients sont mélangés pour dissoudre le sucre et obtenir une crémeuse émulsion. Le mélange doit maintenu aussi frais que possible. La farine et le bicarbonate de sodium sont ajoutés pour la deuxième étape **(Iain Davidson, 2018)**.

Le malaxage est poursuivi à petite vitesse pendant 1min maximum pour obtenir un mélange homogène sans hydratation de la farine et formation de gluten. Les pépites de chocolat sont ajoutées vers la fin du mélange avec suffisamment de temps pour se disperser uniformément dans la pâte **(Iain Davidson, 2018)**.

Ce fait par Les mélangeurs qui ont une construction en acier inoxydable, entièrement bol basculant avec chemise d'eau pour le contrôle de la température et entraînements à deux vitesses ou variateur de fréquence. **(Iain Davidson, 2018)**.



**Figure 13** : Mélangeur vertical à trois broches et capacité de 1000 kg **(Iain Davidson, 2018)**.

Plusieurs processus se produisent lors du mélange de la pâte.

Il s'agit notamment des éléments suivants :

- Dispersion de tous les ingrédients et mélange en une masse homogène
- Hydratation de la farine
- Émulsification des graisses et de l'eau
- Développement du gluten formé par les protéines de la farine
- Activation des agents levants **(Iain Davidson, 2018)**.

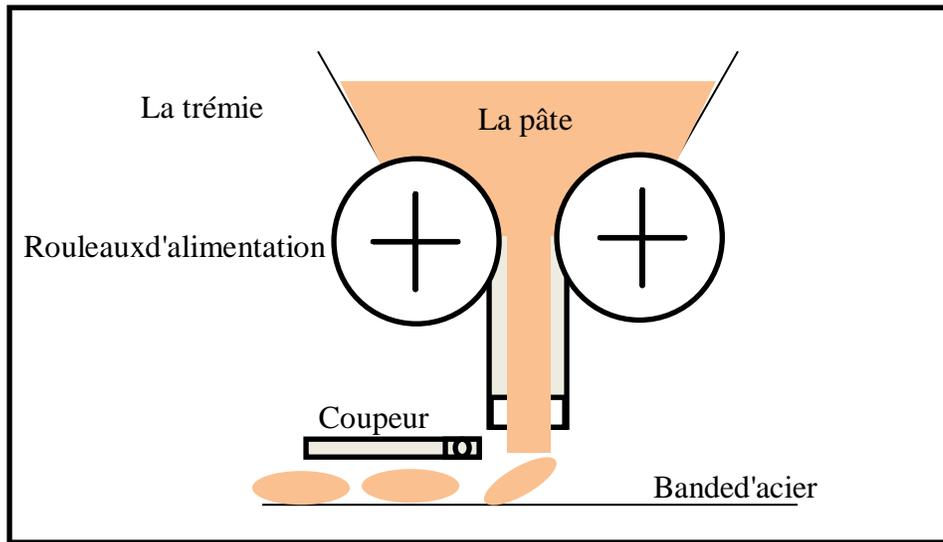
### 3- Systèmes d'alimentation de la pâte

La pâte est acheminée vers la trémie d'une machine à couper le fil. La pâte peut être alimentée à partir d'un bol par gravité. Les rouleaux d'alimentation du déposant fonctionnent en continu et extrudent la pâte à travers les matrices. **(Iain Davidson, 2018)** (Figure 14).



**Figure 14** : Unité d'inclinaison du bac à pâte pour alimenter un bac à fond **(Iain Davidson, 2018)**.

Comme la pâte est extrudée, elle est coupée par un fil à va-et-vient horizontal. Les pâtons coupés tombent directement sur la plaque de cuisson ou la bande de cuisson du four. **(Iain Davidson, 2018)**.



**Figure 15** : Schéma de la machine à couper la pate (Iain Davidson, 2018).



**Figure 16** : Cookie déposant sur une bande d'acier (Iain Davidson, 2018).

#### 4- Cuisson des biscuits

Les fours à biscuits, généralement appelés fours à tunnel, ont de longs convoyeurs qui transporter les pâtons à travers une chambre de cuisson chauffée. La longueur de four varie généralement entre 25 et 100 m de long. Le matériau de la bande transporteuse est un treillis métallique ou une tôle d'acier au carbone, qui tourne autour de grands cylindres tambours à chaque extrémité du

four. Le convoyeur est entraîné par un variateur de vitesse en bout de four qui permet à l'opérateur de régler le temps de cuisson. **(Iain Davidson, 2018).**



**Figure 17 :** Four à rayonnement indirect, longueur 100m **(Iain Davidson, 2018)**

- Transfert de chaleur

Le rayonnement est la méthode de transfert de chaleur la plus importante pour la cuisson des biscuits. Il se produit principalement par rayonnement électromagnétique de longueurs d'onde infrarouges des brûleurs à gaz directs, les surfaces chaudes de la chambre de cuisson et des tubes ou conduits transportant les gaz chauds des brûleurs dans un système de cuisson indirecte. Cette chaleur rayonnante est pénétrante et efficace et se produit sans effets indésirables. Effets secondaires, tels que le séchage rapide ou l'écaillage de la surface des morceaux de pâte. **(Iain Davidson, 2018).**

## **5- Refroidissement et manipulation des biscuits**

### **5.1- Refroidissement des biscuits**

Avant l'emballage, les biscuits sont refroidis à une température proche de la température ambiante. C'est normalement accompli par une série de convoyeurs transportant les biscuits pour une période de 1,5 à 2,0 fois celle du temps de cuisson, lorsque les biscuits seront suffisamment frais pour l'emballage. Ce temps de refroidissement a une deuxième fonction, réduire le gradient d'humidité depuis le centre des biscuits, plus humide, jusqu'à la surface des biscuits, qui sont très

secs. Si ce gradient d'humidité est trop élevé, il peut provoquer la vérification d'un état de petites fissures capillaires dans les biscuits après emballage (Iain Davidson, 2018) (Figure 17).



**Figure 18 :** Refroidisseur d'air (Iain Davidson, 2018).

### 5.2- Manipulation des biscuits

Les biscuits sont empilés en couloirs sur la table d'emballage pour être transférés automatiquement ou manuellement vers les machines d'emballage (Iain Davidson, 2018) (Figure 18).



**Figure 19 :** Machine à empiler les biscuits (Iain Davidson, 2018)

## 6- Emballage des biscuits

- 1) Présenter les biscuits de manière attrayante pour les consommateurs potentiels,
- 2) Afficher le type de biscuit, le poids, les ingrédients et le fabricant,
- 3) Conserver la fraîcheur et la saveur des biscuits pendant une longue durée de conservation,
- 4) Fournit une barrière efficace contre l'humidité et les odeurs étrangères,
- 5) Protège contre la lumière visible et les rayons UV,
- 6) Protégez les biscuits contre les dommages pendant le transport,
- 7) Bien s'empiler sur les rayons des supermarchés (**Iain Davidson, 2018**).

### ❖ Matériaux d'emballage

Les différents matériaux utilisés sont les suivants :

- Polypropylène, polypropylène orienté métallisé (OPP) et biaxialement film de polypropylène orienté (BOPP).
- Le BOPET, polyéthylène téréphtalate (PET) biorienté, est un film polyester fabriqué à partir de PET étiré.
- Stratifiés, papiers plastifiés, OPP/papier et polylactique métallisé acide/papier.
- Pour barquettes thermoformées, PET et PET recyclé (PET).
- Feuille d'aluminium.
- Cartons et boîtes : carton, carton couché et carton/feuille de polyéthylène/aluminium (**Iain Davidson, 2018**).



Figure 20 : Machines pour le conditionnement de biscuits en flowpack (Iain Davidson, 2018).

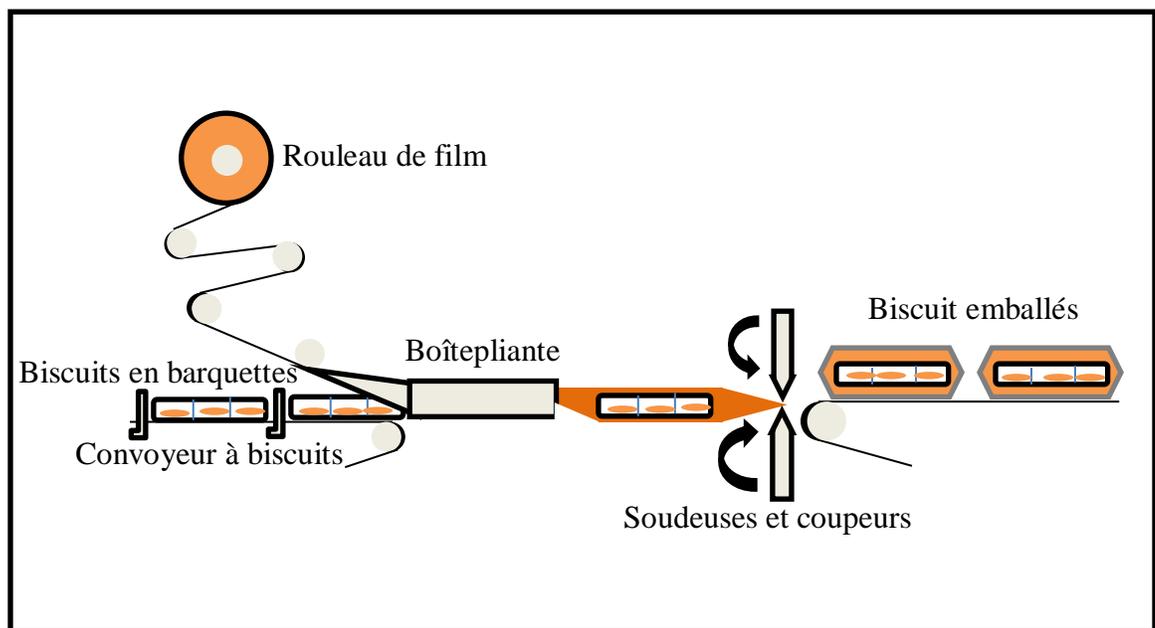
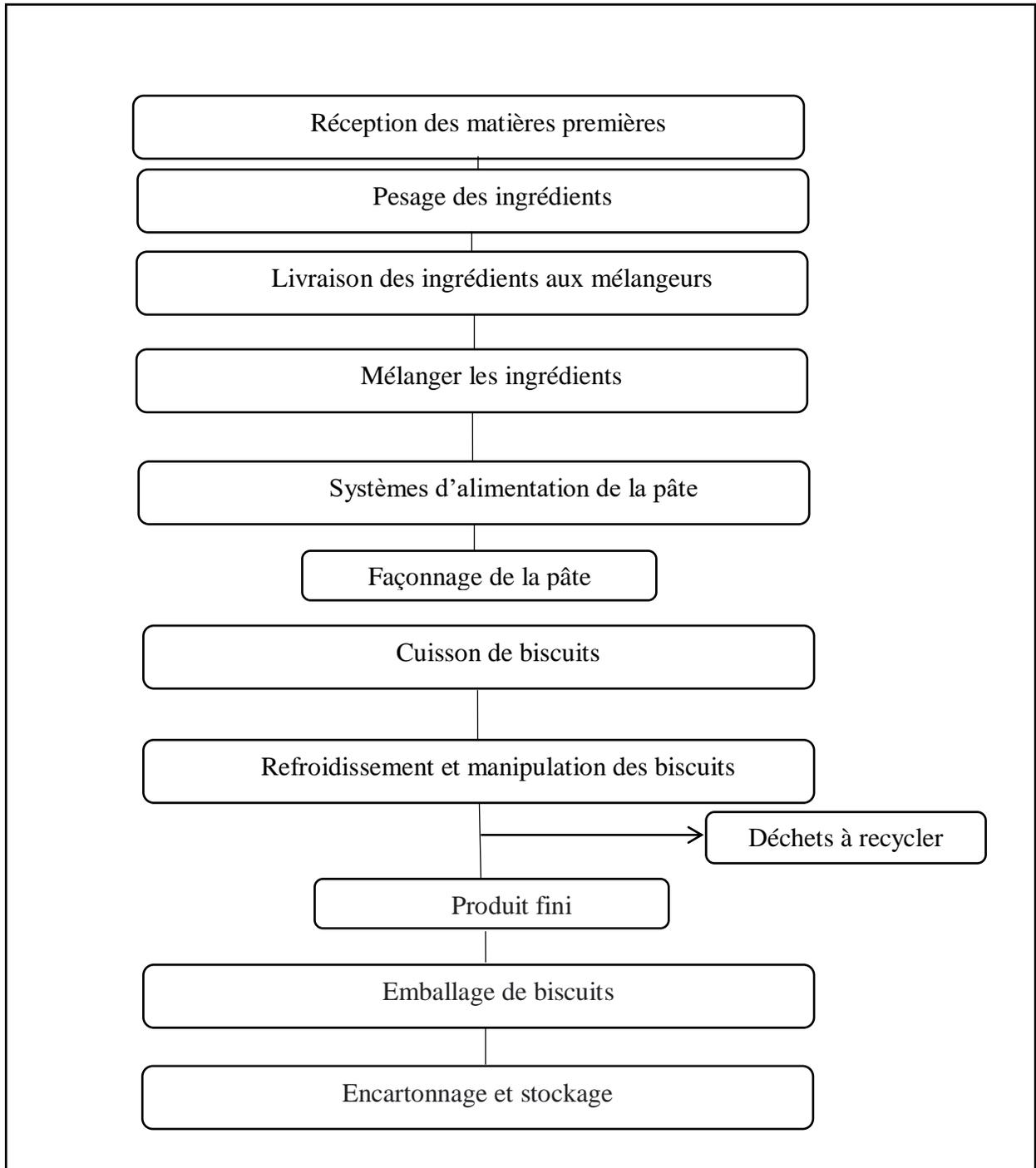


Figure 21 : Schéma de processus d’emballage des biscuits en barquettes (Iain Davidson, 2018).



**Figure 22** : Diagramme de production de biscuit à l'échelle industrielle

## 2.9 Détermination de la qualité des biscuits

Selon la Normes (NF- 50- 109), la qualité est l'aptitude d'un ensemble de caractéristiques intrinsèques à satisfaire des exigences. Encore l'ensemble des propriétés et caractéristiques d'une entité qui lui confère l'aptitude à satisfaire les besoins des utilisateurs. On a plusieurs composantes de la qualité alimentaire : hygiénique, nutritionnelle, organoleptique et d'usage. C'est à travers ces composantes que l'on peut juger de la qualité d'un produit alimentaire. La qualité d'un produit se dégrade au cours du temps d'où l'importance de la mention des dates d'expiration sur les étiquettes des produits alimentaires. On ne devrait généralement pas utiliser un produit après sa date d'expiration et se rappeler que. Malgré une date d'expiration encore éloignée, un produit peut même ne plus être adéquat, s'il a été conservé dans de mauvaises conditions. Les critères généraux de la qualité d'un biscuit sont tels que le biscuit doit être sain, propre à la consommation humaine, Exemple d'odeurs et de goûts anormaux ainsi que d'insectes vivants. Il doit également être exempt de souillures (impuretés d'origine animale, y compris les insectes morts) en quantité susceptibles de présenter un risque pour la santé humaine (**Sankara, 2013**).

### 2.9.1 Qualité microbiologique

La qualité hygiénique des biscuits est d'une part liée à celle de la matière première mise en œuvre et des ingrédients entrant dans la composition de la pâte, notamment la qualité microbiologique des œufs et des poudres de lait ; car ils représentent un milieu de développement favorable pour plusieurs espèces de micro-organismes pathogènes tels que les salmonelles. Elle est d'autre part, liée à l'emballage du produit de point de vue nature du papier d'emballage et procédé de fermeture d'un paquet (**Haoua et Tingali, 2007**).

### 2.9.2 Qualité nutritionnelle

Elle est déterminée par la quantité et la qualité des nutriments (glucides, lipides, protéines, vitamines et sels minéraux) nécessaires au bon fonctionnement vital de l'organisme (**Haoua et Tingali, 2007**).

### 2.9.3 Qualité organoleptique

La qualité organoleptique des aliments est l'ensemble des propriétés perçues par les organes des sens qui nous permettent de les connaître et de les apprécier. Le consommateur est attiré par les différentes propriétés composant cette qualité, il s'agit de : aspect et couleur, forme, saveur, arômes, texture (**Haoua et Tingali, 2007**).

- ❖ Texture : Elle est déterminée principalement par la teneur en humidité, en gras et les types et les quantités des carbohydrates structurales (cellulose, amidons, pectines...) et les protéines présentes, l'expansion, un événement pertinent dans la formation de la texture est déterminé par les propriétés rhéologiques de la pâte, qui dépend du comportement et interactions de ces composants et la solubilité du gaz dans la phase continue. Des expansions grandes produisent une faible densité ce qui résulte en de biscuits de grande porosité. Les dimensions physiques du biscuit sont gouvernées par le développement de la structure poreuse dans le four, et le poids et la teneur en eau du biscuit sont principalement contrôlés par l'évaporation d'eau pendant la cuisson. La résistance de la croûte du biscuit à la déformation est un attribut textural dont on connaît le nom de la dureté et fermeté et c'est un facteur important dans les produits de panification comme elle est fortement corrélée avec la perception de la fraîcheur du biscuit. Pour cela, la texture est un critère de qualité important, ou la formation d'une miette tendre et flexible est désirée (**Lara et al., 2011**).
- ❖ Couleur : La couleur est un facteur déterminant dans la définition de la qualité de n'importe quel aliment et elle est un trait que le consommateur remarque immédiatement comme elle influence l'impression sensorielle subjective (**Lara et al., 2011**).
- ❖ Goût, flaveur et arôme : Les attributs du goût sont le salé, le sucré l'amère et l'acidité. Les composants volatiles d'arôme sont produits sous l'effet de la chaleur, l'oxydation, l'activité non enzymatique sur les protéines, la matière grasse et les carbohydrates (exemple : réaction de Maillard) (**Fellows, 2000**).

# *Chapitre 03*

## *3. Matériel et méthodes*

### 3.1 Objectif

Ce travail a pour but de formuler une nouvelle recette de biscuit de type cookies à haute valeur nutritionnelle et d'une qualité organoleptique acceptable. Il vise également à l'évaluation de l'effet de l'incorporation partielle de la farine d'orge dans la production de cookies sur les caractéristiques physico-chimiques et sensorielles de ces derniers.

### 3.2 Présentation du lieu de travail

#### Le groupe BIMO

La première usine a été créée en 1981 par le fondateurs Amar Hamoudi, dans la zone industrielle de Baba-Ali au sud d'Alger baptisée la nouvelle biscuiterie moderne BIMO par abréviation. Grâce au travail acharné du manager la société a connues un développement rapide de ses activités productives.



**Figure 23** : Logo de groupe BIMO

En 1986 le groupe BIMO s'intéresse au chocolat et Vegecao et devient ensuite leader national en ces produits.

La société inaugure en 1997 la première unité de traitement et de transformation de fèves de cacao en Algérie qui alimentera ses propres usines ainsi que les autres entreprises industrielles national.

Le groupe BIMO constituait de six unités de production dans la même activité (Agro-Alimentaire).

### 3.3 Matériel

#### 3.3.1 Matériel végétal

**Farine de blé** : La farine de blé tendre de type T45 de la marque « La belle » a été utilisée pour la préparation des cookies (**Annexe 1**).

**Farine d'orge** : les grains sont de la variété Tichedrette (Origine station d'amélioration des plantes de grandes cultures en 1931), zone d'adaptation plaines intérieures et hautes-plateaux, alternativité automne, cycle végétative : tardive, tallage moyen, résistante au froid et à la sécheresse et moyennement résistante à la verse, poids de mille grains est moyen, moyennement résistante au (Rhynchosporiose) et sensible à Helinthosporiose (**ITGC, 2005**).



**Figure 24:** Les grains d'orge de la wilaya de Djelfa

Cette farine est obtenue en suivant les étapes ci-dessous:

- **Nettoyage** : effectué manuellement pour éliminer les matières étrangères et les grains endommagés.
- **Broyage** : cette opération est réalisée à l'aide d'un broyeur électrique afin de réduire la taille des grains en fines particules (**Annexe 2**).
- **Tamisage** : cette opération est réalisée à l'aide d'un Tami traditionnelle dans le but de séparer la fraction utilisable (la farine) des enveloppes (**Annexe 2**).

#### 3.3.2 Matériel non biologiques

L'appareillage et la verrerie utilisés pour la réalisation de cette étude sont décrits dans l'**Annexe 03**.

### 3.4 Méthodologie

La préparation de nos cookies a été entièrement réalisée au sein du laboratoire de l'entreprise BIMO de Baba Ali. Les analyses physico-chimiques et organoleptiques du produit fini ont été effectuées au niveau des laboratoires de la faculté SNV (Université Blida 1), l'entreprise BIMO et de l'ENSA d'El Harrach.

#### La production de cookies

Le cookie témoin est formulé à partir d'une nouvelle recette développée suite à de nombreux essais préliminaires. La liste des ingrédients de cette recette est indiquée dans le tableau 7.

**Tableau 7:** Ingrédients utilisés pour la formulation de la nouvelle recette de cookies.

Ingrédients	Quantité
Farine de blé	250g
Matière grasse	150g
Œufs	55g
Sucre	100g
Bicarbonate de soude	5g
Arome	4g
Sel	1g
Pépites de chocolat	80g

La préparation de la farine composite est réalisée avec cinq taux différents d'incorporation de farine d'orge (Tableau 08).

**Tableau 8:** Les proportions d'incorporation de la farine d'orge dans les différentes formulations de cookies.

Farine de blé	Farine d'orge
100%	0%
90%	10%
80%	20%
70%	30%
60%	40%

La préparation est réalisée manuellement selon les étapes suivantes :

- Pesage :

Tous les ingrédients sont pesés à l'aide d'une balance selon la recette de cookies (**Annexe 04**)

- Crémage :

Cette étape consiste à fouetter le sucre, l'huile et les œufs à l'aide d'un pétrin pendant 3 minutes jusqu'à l'obtention d'une texture de pommade (**Annexe 04**)

- Pétrissage (frassage) :

Ajouter les autres ingrédients et mélanger bien jusqu'à l'obtention d'une pâte homogène toujours à l'aide d'un pétrin, puis ajouter les pépites de chocolat et mélanger pour bien incorporer les pépites et former une boule de pâte (**Annexe 04**)

- Mise en forme :

Former des boules de 19 g puis répartir sur une plaque recouverte avec l'amidon et aplatir chaque boule de pâte pour obtenir un disque de 1 cm d'épaisseur à l'aide de paumes de la main, et à la fin décorer avec des pépites de chocolat sur la surface (**Annexe 04**)

➤ Cuisson

La cuisson est réalisée dans un four à une longueur de 40 m pendant 8 minute, le four est composé de trois zones et chaque zone responsable a une réaction de cuisson avec une température spécifique (Tableau 09) (**Annexe 04**)

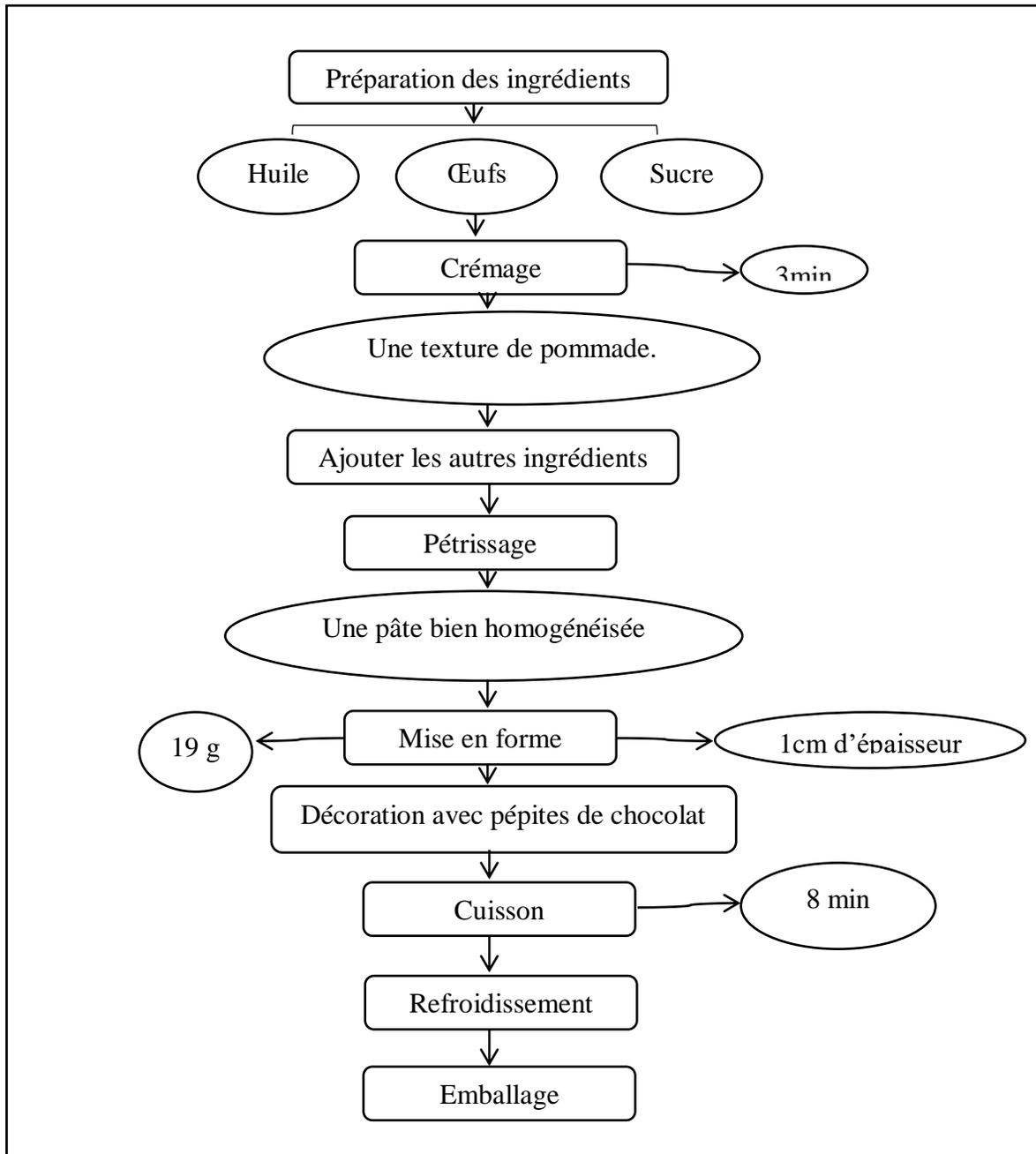
**Tableau 9:** les différentes zones de four et sont rôles dans la cuisson des biscuits

Zone	Température °C	La réaction
Zone 01	220	Cuisson
Zone 02	225	Stabilisation de la forme
Zone 03	204	La réaction de Maillard

➤ Refroidissement et emballage

Les cookies sortant du four à une température élevée sont ensuite refroidis à l'aide des refroidisseurs à une température proche de la température ambiante pour une période de 10 minutes (**Annexe 04**).

Lorsque la durée de refroidissement terminé les cookies sont emballés dans barquettes hermétiquement fermes avec des films en plastique pour être conservés.



**Figure 25 :** Diagramme d’élaboration de cookies avec la farine de blé de farine et la farine d’orge.

### 3.5 Analyses physico-chimiques

#### 3.5.1 Analyse effectuées sur les matières premières

Les analyses physico-chimiques sont réalisées sur les trois matières premières « farines de blé tendre, farine d'orge et la grasse végétale », et les méthodes d'analyse appliquer selon ministre du commerce CACQE.

##### ➤ Mesure de pH

###### Principe :

Le principe est basé la détermination de la quantité des ions hydronium ( $H^+$ ) dans une solution. Le pH est mesuré électroniquement au moyen d'un pHmètre à lecture directe, en utilisant une électrode de verre et de référence au chlorure de potassium-calomel à saturation.

###### Matériels :

- Balance analytique
- pH-mètre avec électrode
- Agitateur magnétique chauffant
- Bécher 250ml
- Entonnoir
- Erlenmeyer 200ml
- Eau distillée
- Papier filtre
- Tube à essai
- Thermomètre

###### Mode opératoire :

- Mettre sous tension le pH-mètre en appuyant sur « ON ».
- Appuyant sur le bouton « T°C » et régler la température de pH-mètre à 20°C en utilisant le bouton situé au-dessus.

- Allumer la balance à l'aide du bouton « POWER »
- Peser 10g de l'échantillon dans un bécher et compléter avec l'eau distillée jusqu'à atteindre les 100g.
- Allumer l'agitateur et peser le bécher.
- Chauffer juste assez pour dissoudre l'échantillon.
- Régler la vitesse de l'agitation à « 1 » et agiter jusqu'à ce que la solution devienne homogène.
- Préparer l'erlenmeyer, l'entonnoir et le filtre.
- Verser la solution sur le filtre.
- Après filtration totale, récupérer le filtrat dans un tube à essai et le refroidir à 20°C.
- Plonger l'électrode du pH-mètre dans le tube d'essai.

Lire sur l'afficheur la valeur du pH

#### ➤ **Mesure de l'humidité par humidimètre**

##### Matériels :

- Un ou deux plateaux
- Une spatule
- Une pince
- Un humidimètre

##### Méthode :

- Mettre l'appareil sous tension en le tournant à droite le bouton rouge
- Placer un plateau vide et le poids de 10g sur le support de plateau inférieur
- Débloquer la balance en manœuvrant le bouton gauche vers le bas, l'éclairage des deux cadrans est enclenché.
- Sur le cadran droit, l'aiguille doit se trouver sur la ligne (10g)
- Fixer l'index du cadran de gauche sur le trait du milieu
- Remettre l'aiguille du cadran droit au « 0 »

Important : l'index sur le cadran gradué gauche doit rester sur le trait du milieu.

En cas d'apparition de petits écarts : corriger à l'aide du bouton situé en dessous de l'écran.

En cas de grands écarts : régler au moyen de vis moletées et des contrepoids se trouvant à droit de la balance.

- Remettre la balance à zéro au début de chaque analyse.
- Retire le poids de 10g.
- Peser l'échantillon à analyser jusqu'à atteindre 10g.
- Vérifier que l'index du cadran de gauche se trouve de nouveau sur le trait du milieu.
- Bloquer en tournant le bouton de gauche vers le haut.
- Déposer le plateau et le produit sur l'une des plaques chauffantes.
- Régler la minuterie à 10 min.

**Remarque :** En cas de deux mesures simultanées : ne pas changer le réglage du cadran gauche et veiller à ce que les poids des deux plateaux soient identiques.

- Amener le plateau avec le produit séché sur le porte plateau supérieure à l'aide du bouton de réglage du haut en tournant à droite ou à gauche selon le cas.
- Débloquer en tournant le bouton de réglage gauche vers le bas.
- Amener l'index sur le trait du milieu du cadran gradué de gauche en tournant le réglage de droite.
- Lire la teneur d'humidité en % directement sur l'écran droit (lecture d'humidité).
- Bloquer en tournant le bouton de gauche vers le haut.
- Replacer le plateau sur la plaque du bas à l'aide du bouton de réglage du haut.
- Retirer le plateau à l'aide d'une pince.
- Eteindre l'appareil à l'aide du commutateur.

➤ **Mesure du taux de cendre**

Principe :

Incinération d'une prise d'essai d'échantillons des semoules jusqu'à combustion complète des matières organiques à 900 °C puis pesée du résidu obtenu.

Matériels :

- Un four à moufle réglable à 900°C ± 25°C.
- Une balance électronique
- Un creuset en porcelaine
- Un dessiccateur
- Une spatule
- Une pince

Mode opératoire :

- 1- Chauffer durant 10 mn le creuset dans le four réglé à 900°C ± 25°C.
- 2- Laisser refroidir à la température ambiante
- 3- Peser 10g de produit à analyser
- 4- Introduire le creuset dans le four 900°C ± 25°C jusqu'à disparition des particules charbonneuses (en général le temps d'incinération est de 1h30 min).
- 5- Retirer le creuset du four à l'aide d'une pince et le refroidir dans le dessiccateur jusqu'à température ambiante.
- 6- Peser le creuset

Le taux de cendre exprimé en % en masse est calculé à l'aide de la formule suivante :

$$\% \text{ de cendre} = \frac{m_2 - m_0}{m_1} \times 100$$

m0 : masse du creuset vide en gramme

m1 : masse de prise d'essai en gramme

m2 : capsule après incinération

➤ **Détermination de l'acidité grasse**

L'acidité grasse est l'expression conventionnelle des acides, essentiellement des acides gras libres, extraits dans les conditions qui suivront. Elle est exprimée en gramme d'acidité sulfurique pour 100g de matière sèche.

Principe :

Mise en solution des acides dans l'éthanol à 95%(v/v) à la température du laboratoire, centrifugation et tirage d'une partie aliquote de la solution surnageant par l'hydroxyde de sodium.

Réactifs :

Tous les réactifs doivent être de qualité analytique et l'eau utilisée doit être de l'eau distillée

- 1- Ethanol (alcool éthylique) à 95% (v/v)
- 2- Hydroxyde de sodium (NaOH) : solution titrée à 0.5N dans l'eau distillée dont on aura éliminé le dioxyde de carbone et par ébullition. Cette solution doit être exempte de carbonates et doit être conservée dans un flacon en verre inactinique.

Le titre de la solution doit être vérifié immédiatement avant chaque série de détermination de l'acidité.

- 3- Phénolphtaléine : solution à 1g pour 100ml dans l'éthanol à 95% (v/v).

Matériels :

- Balance précis à 0.01g
- Broyeur permettant un broyage rapide et uniforme, sans provoquer d'échauffement sensible du produit et en éviter au maximum le contacte avec l'air extérieur (cas des semoules et des pates alimentaire).
- Tamis en toile métallique de 1mm d'ouverture de maille (pour les farines).
- Centrifugeuse à 5000-6000 tours/min
- Tubes de centrifugeuse de 45 ml en verre ou en plastique neutre bouchés hermétiquement.
- Pipettes précises de 10 et 20ml

- Fioles conique ou erlenmeyer de 250 ml
  - Micro-burette graduée en 0.01 ml
  - Agitateur rotatif mécanique de 30 à 60 tours/min.
- Conditions de conservation : les échantillons ne doivent pas être conservés à la température du laboratoire plus d'une journée, l'acidité augmente pendant le stockage. Les conserves en flacons étanches à 4°C environ. Avant chaque prélèvement, pour analyse, laisser cet échantillon revenir à la température du laboratoire dans le flacon étanche.

#### Mode opératoire :

- Nombre de détermination :

Faire deux déterminations sur le même échantillon pour essai.

- Préparation de l'échantillon pour essai
  - Cas de farine : prélever environ 50g de farine et les tamiser à l'aide du tamis de 1mm d'ouverture de maille, de manière à désagréger les agglomérats éventuellement présent.
  - cas de semoules : broyer environ de 50g de produit à l'aide d'un broyeur de telle manière que la totalité du broyat passe au travers du tamis de 500 $\mu$ m d'ouverture de maille et qu'au moins 80% passant au travers de tamis de 160  $\mu$ m d'ouverture de maille.
- Prise d'essai : peser à 0.01g près environ 5g d'échantillon pour essai, après l'avoir bien homogénéisé.
- Détermination :
  - Extraction :
    - Introduire la prise d'essai dans le tube de centrifugeuse.
    - Ajouter à la pipette 30 ml d'éthanol et ferme le tube hermétiquement.
    - Agiter pendant une heure à l'aide de l'agitateur rotatif mécanique en opérant à une température de 20°C  $\pm$  pendant 2 min.
    - Ces deux centrifugations sont plus efficaces qu'une seule de plus longue durée car elles permettent d'éliminer les particules restant en suspension.

- Titration : prélèvement à la pipette 20 ml du liquide surnageant parfaitement limpide et les verser dans une fiole conique.

Ajouter 5 gouttes de phénolphaléine.

Titre à l'aide de la micro-burette avec la solution d'hydroxyde de sodium 0.05N, jusqu'au virage au rose pâle persistant quelques secondes.

- Essai à blanc :
  - Titrer l'acidité apportée par l'alcool, en opérant sur 20ml d'éthanol suivant les conditions de 5.2.

Expression des résultats :

- Acidité exprimée en gramme d'acide sulfurique pour 100g de matière telle quelle :

$$\frac{7.35 \times (v_1 - v_2) \times T}{m}$$

- Acidité exprimée en gramme d'acide sulfurique pour 100g de matière sèche

$$\frac{7.35 \times (v_1 - v_2) \times T}{m} \times \frac{100}{100 - H}$$

Où

$v_1$  : est le volume en millilitres de la solution d'hydroxyde de sodium utilisée pour la détermination.

$v_2$  : est le volume en millilitres de la solution d'hydroxyde de sodium utilisée pour l'essai blanc.

$m$  : est la masse en gramme de la prise d'essai

$T$  : est le titre exact de la solution d'hydroxyde de sodium utilisée.

$H$  : est la teneur en eau en pourcentage en masse de l'échantillon pour essai

Résultat :

Faire le calcul avec 4 décimales.

Prendre comme résultat la moyenne arithmétique des deux déterminations si les conditions de répétabilité sont remplies. Dans le cas contraire, refaire l'essai en double.

Répétabilité : la différence entre les résultats des deux déterminations effectuées simultanément ou rapidement l'une après l'autre par la même analyse. Ne doit pas dépasser 0.02g d'acide sulfurique pour 100g de matière sèche.

### ➤ **Le taux du gluten de la farine de blé tendre**

#### Principe :

La détermination de la teneur en gluten se base sur la préparation d'une pâte issue d'un échantillon de farine (10 gramme), avec solution salée (NaCl 20g/l), l'isolement du gluten humide se fait manuellement par lixiviation sous l'eau, le gluten humide obtenu est suivi par un séchage.

#### Matériels :

- Une balance électronique
- Un mortier en porcelaine
- Une burette 10ml graduée en 0.1 ml
- Eau distillée
- Une solution de chlorure de sodium à 20g/l (NaCl)
- Une spatule
- Une étuve thermostatée

#### Mode opératoire :

- Mettre sous tension la balance électronique en appuyant sur la touche « power ».
- Peser dans un mortier 10 g de farine.
- Ajouter 5.5 ml de NaCl (solution (20g/l)).
- Agiter la farine avec la spatule et former une boule de pâte.
- Malaxer le pâton en le plaçant dans la paume de la main tout en versant dessus goutte à goutte du NaCl.
- Poursuivre l'opération jusqu'à ce que l'eau de lavage ne soit plus trouble.

- Eliminer la grande partie de la solution du rinçage en comprimant la boule de gluten entre les mains et refaire cette opération plusieurs fois.

Expressions des résultats :

Le gluten humide exprimé en % en masse du produit est égal à :

$$GH = \frac{m \times 100}{10}$$

m : est la masse en gramme du gluten humide.

- Placer le gluten humide obtenu dans l'étuve pendant 2 heures à 100°C.

Le gluten sec exprimé en % en masse du produit tel quel est égal à :

$$GS = \frac{m' \times 100}{10}$$

m' : est la masse en gramme du gluten sec.

### 3.5.2 Analyse effectuées sur le produit fini (Cookies)

➤ **Analyse physique du produit fini**

Les analyses physiques ont été réalisées au sein du laboratoire de l'entreprise BIMO afin de décrire les caractéristiques du produit fini à l'aide d'une règle et une balance de précision.

Certaines analyses appliquées pour les produits finis sont les mêmes pour les matières premières telles que le Ph, l'humidité, et le taux de cendre.

➤ **Détermination de la teneur en fibres totales**

Matériels :

- Broyeur de paille
- Tamis de 500µm

- Dessiccateur
- Balance analytique à 0.1mg
- Etuve pour le séchage
- HCL
- Ballons de 500ml
- NaOH
- Alcool éthylique (éthanol)
- Papier filtre

Mode opératoire :

- Préparation de l'échantillon :

Pour la détermination de la teneur en fibres totaux, les échantillons sont broyés en poudre à l'aide d'un broyeur ( $\phi$  inférieur à 0.5 mm).

Sécher à 40°C pendant 24h les échantillons pour les exprimer en MS.

- Détermination pratique :

Préparation : avant d'effectuer le prélèvement sur l'échantillon de laboratoire il est nécessaire de bien l'homogénéiser ; il faut manipuler les ballons à l'aide de la pince et non avec les doigts.

Les ballons doivent être nettoyés par lavage puis rincer à l'eau distillée.

Après rinçage, les ballons doivent être séchés dans une étuve pendant le temps nécessaire à l'élimination de l'eau.

- Préparation de la prise d'essai

À partir de l'échantillon pour essai soigneusement homogénéisé, peser rapidement à 0.1mg près une prise d'essai  $4 \pm 0.1$ mg dans un ballon d'extraction, répartir le produit sans le tasser.

- Extraction

4g de l'échantillon sont digérés dans 200 ml de HCL à 5% pendant 30 min

- Le mélange est filtré et levé à l'eau chaude

- Le résidu est digéré par 200ml de NaOH à 5% (hydroxyde de sodium en solution aqueuse 1.25N (5%) sous reflux pendant 30 min.
- Le mélange est filtré et lavé à l'eau jusqu'à neutralité du pH.
- Le mélange est lavé avec 20ml d'alcool éthylique et avec 20ml d'éther éthylique.
- Le résidu est séché à 100°C pendant 2 heures.
- La masse résiduelle est considérée comme des fibres.
- Répétabilité

La différence absolue entre deux résultats d'essai individuels indépendants, obtenus à l'aide de la même méthode sur un matériau identique soumis à l'essai dans le même laboratoire par le même opérateur utilisant le même appareillage et dans un court intervalle de temps, ne dépassera pas plus de 1% des cas.

➤ **Dosage des protéines totales**

Détermination de l'azote totales par la méthode de Kjeldahl

Principe :

La méthode Kjeldahl moderne consiste en une procédure de minéralisation catalytique de la matière organique dans un mélange bouillant d'acide sulfurique et de sel de sulfate ( $\text{Na}_2\text{SO}_4$ ,  $\text{K}_2\text{SO}_4$ ) à une température de digestion supérieure à 400 °C. Au cours de ce processus, l'azote lié aux matières organiques est transformé en sulfate d'ammonium. L'alcalinisation de la solution digérée libère de l'ammoniac, qui est distillé quantitativement à la vapeur et déterminé par titrage.

Réactifs :

Tous les réactifs doivent être de qualité analytique, reconnus et exempts de composés azotés.

- L'eau distillée
- Acide sulfurique  $\text{H}_2\text{SO}_4$  0.1 N
- Acide borique  $\text{H}_3\text{BO}_3$  à 4%
- NaOH à 33%
- Mélange de catalyseurs ( $\text{K}_2\text{SO}_4$  et  $\text{CuSO}_4$ )

Appareillage :

- Broyeur
- Balance de précision
- Matras Kjeldahl de 500ml
- Dispositif de minéralisation
- Appareil de distillation
- Verrerie de laboratoire

Mode opératoire :

Le dosage de la teneur en protéine dans un produit alimentaire repose sur 4 étapes qui sont :

- La minéralisation
- La distillation
- La titration
- Les calculs

**1- Minéralisation**

- Introduire dans les matras Kjeldahl 1g d'échantillon à analyser.
- Peser 2g du catalyseur préalablement préparé (il s'agit d'un mélange de  $K_2SO_4$  et  $CuSO_4$ ).
- Ajouter 20ml d'acide sulfurique concentré en utilisant un doseur.
- Ajouter quelques billes en verre et secouer délicatement afin de mélanger l'échantillon avec l'acide sulfurique et le catalyseur
- Placer le matras sur l'unité de minéralisation à 400°C.
- Faire fonctionner le minéralisateur jusqu'à obtention d'une couleur limpide. Prolonger le chauffage ½ heure après cette constatation. Laisser refroidir.

**2- Distillation**

- Verser le contenu du matras dans une fiole jaugée et ajuster le volume à 100ml avec l'eau distillée.
- Prendre 20ml du minéralisât dilué et placer le dans le dispositif de distillation. De la solution NaOH à 33% sera ajouté.

- Recueillir le distillat dans 20ml de l'acide borique 4%.

### 3- La titration

- Titrer rapidement l'ammoniac piégé dans la solution d'acide borique avec une solution d'acide chlorhydrique HCL ou d'acide sulfurique 0.1N.
- Noter le volume d'acide utilisé.
- Le point de fin de la réaction est révélé soit par la mesure du la mesure du Ph soit en utilisant un indicateur coloré (rouge de méthyle).

NB : réaliser la titration avec un blanc.

### 4- Expression des résultats

La teneur en l'élément azote de l'échantillon :

$$\%N = \frac{(Ve - Vb) \times Ca \times Mn \times 100}{Me}$$

Ve : volume d'acide pour titrer l'échantillon

Vb : volume d'acide pour titrer le blanc

Ca : concentration molaire d'acide 0.1N

Ma : masse atomique d'azote (g/mol)

Me : prise d'essai (g)

La teneur en protéines d'échantillon

$$\% \text{ protéines} = \% N \times Fc$$

Fc : Facteur de conversion

Le facteur de conversion est spécifique à chaque produit alimentaire

Pour les céréales Fc = 5.7

➤ **Détermination de la teneur en lipides**

Nous avons fait cette analyse uniquement pour le produit choisi (cookie 40%)

Mode opératoire :

- Sécher un ballon de 500 ml à 105°C pendant une heure puis refroidir au dessiccateur pendant 30 min. Peser le ballon vide. **(p1)**
  - Prendre 20 g d'échantillons **(p3)** et l'introduire dans la cartouche du Soxhlet.
  - Mettre la cartouche bouchée par du coton dans l'extracteur de "Soxhlet". Ce dernier est muni d'un réfrigérant par le haut, d'un ballon et d'un chauffe ballon par le bas.
  - Mettre 200 ml d'hexane (solvant) dans le ballon et 50 ml dans l'extracteur.
  - Chauffer le ballon sur la chauffe ballon pendant 4h (20 siphonages par heure) jusqu'à épuisement de la matière grasse.
  - Faire évaporer le solvant dans un évaporateur puis sécher le résidu du ballon dans une étuve à 70 – 80°C.
  - Refroidir le ballon dans un dessiccateur pendant 30 min,
- Peser le ballon contenant les lipides **(p2)**.

Expression des résultats :

La teneur en lipide est obtenue par la formule suivante :

$$L\% = [(P2 - P1) \times 100] / P3$$

P<sub>1</sub> est le poids du ballon vide (g)

P<sub>2</sub> est le poids du ballon avec l'huile extraite (g)

P<sub>3</sub> est la masse de la prise d'essai (g).

### ➤ Détermination de la teneur en glucides

Il faut soustraire de la teneur totale de 100% tous les résultats obtenus précédemment (humidité, matières minérales, matières grasses, matières azotées totales) pour avoir la teneur en glucides. La somme totale des principaux constituants est de 100%. Nous avons utilisé l'équation 03 pour obtenir les glucides totaux de cookie choisi (40% Orge/ blé) afin de calculer sa valeur énergétique.

$$\text{Glucide totale} = 100 - (\text{Humidité}\% + \text{Lipide}\% + \text{cendres}\% + \text{Protéines}\%)$$

## 3.6 Analyses organoleptiques des Cookies

L'analyse sensorielle consiste à étudier d'une manière ordonnée et structurée les propriétés d'un produit afin de pouvoir le décrire, de le classer ou de l'améliorer d'une façon extrêmement objective et rigoureuse. Pour qu'une analyse soit efficace, il convient d'uniformiser le vocabulaire utilisé. Le document "Le vocabulaire de la dégustation" propose une liste des termes les plus employés. La qualité organoleptique joue un rôle très important dans la valeur commerciale des biscuits. Dans le cadre de la présente étude, l'évaluation sensorielle des cookies préparés à base de farine d'orge et du cookie témoin a été réalisée par 50 personnes âgées de 18 à 60 ans (panel naïf), au niveau du Département des Sciences Alimentaires de la Faculté S.N.V. – Université Blida 1. La détermination du profil sensoriel consiste à synthétiser sur une fiche l'ensemble des informations dégagées par l'analyse rigoureuse du produit fini. Ainsi, pour chaque échantillon nous avons procédé à l'analyse selon les descripteurs (Aspect, couleur, goût, Arôme et texture) tout en évaluant l'intensité d'un descripteur sur une échelle graduée (La fiche de dégustation est présentée dans l'**Annexe 05**).

# *Chapitre 04*

## *4. Résultats et discussions*

## 4.1 Analyses physico-chimiques des matières premières

Les résultats des analyses physico-chimiques des farines de blé et d'orge sont indiqués dans le tableau 9.

**Tableau 10:** Résultats des analyses physico-chimiques des farines de blé et d'orge

Critères d'analyses	Résultats	
	Farine de blé	Farine d'orge
<b>pH</b>	6.38	5.21
<b>Humidité (%)</b>	13.80	13.90
<b>Taux de cendre (%)</b>	0.55	2.90
<b>Gluten (g)</b>	10.4	/
<b>Acidité grasse</b>	0.50	0.10

### ❖ pH

La mesure du pH d'un produit est un indicateur indispensable pour évaluer sa qualité et sa sécurité alimentaire. Les variations de pH peuvent conduire à d'importantes différences de goût, de fraîcheur et de durée de conservation (**Matallah, 1970**).

- La farine de blé tendre utilisée dans la formulation à un pH proche de la neutralité (6.38). Ce résultat est proche de celui obtenu par **Makhloufi et al., (2018)**, qui était de 6.6. Cette valeur est acceptable par rapport aux normes établies par **Jora, (2004)**.
- Le pH obtenu pour la farine d'orge est de 5.21. Cette valeur est située dans l'intervalle (5.19 - 5.32) fixé par **FDA, (2013)**.

### ❖ Humidité

La connaissance de la teneur en eau des farines est déterminante pour leur bonne conservation en raison de leur hygroscopicité. Plus la teneur en eau de la farine est faible, plus il est possible de l'hydrater au pétrissage pour arriver à une consistance optimale de la pâte (**Granboinet et al.,**

**1994).** Selon **Chene, (2001)**, la teneur en eau de la farine doit se situer entre 10 et 16% pour assurer sa conservation.

La farine de blé tendre utilisée dans la fabrication des biscuits a une teneur en eau de 13.80%. Cette valeur est proche de celle trouvée par **Makhloifi et al., (2018)**, qui était de 13.20%.

Par ailleurs, la teneur en humidité de la farine d'orge utilisée dans la présente étude (13.90%) est supérieure à celle obtenue par **Belemmane, (2012)**, qui était de 10.20 %.

Aussi, les teneurs en eaux des farines de blé tendre (13.80%) et d'orge (13.90%) sont situées dans l'intervalle (12.60%- 14.70%) recommandé par **Souci et al., (1994)**.

#### ❖ Taux de cendre

La teneur en cendres est un indicateur de pureté de la farine. Elle est en relation avec son taux d'extraction et la minéralisation des grains mise en mouture. Elle définit en outre les types commerciaux des farines (Feillet, 2000 ; Arab,2014).

- Le taux de cendres permet de classer les farines par type. Pour la farine de blé, on distingue 6 types de farine : T45, T55, T65, T80, T110 et T150, plus le taux de cendre est élevé plus la pureté de farine est diminuée. Pour notre farine de biscuit est de 0.55%. Cette farine peut être classée en type 45 ou type 55 (**Jora, 2004**). Donc la farine utilisée dans la recette est une farine biscuitière.

- Les résultats des analyses montrent que les farines de blé et d'orge ont des taux de cendres conformes aux normes, cependant la farine d'orge est fortement minéralisée, à la différence du blé.
- Le taux de cendres obtenu pour la farine de blé tendre est proche du taux de cendres (0.5%) trouvé par **Makhloufi et al., (2018)**. Alors que le taux de cendre de la farine d'orge (10.30%) utilisée dans la présente étude est supérieur à celui obtenu (1.64%) par **Benlemmane, (2012)**. Ceci est probablement dû à la différence de la variété employée.

### ❖ **Gluten**

Selon **Feillet (2000)**, les caractéristiques du gluten dépendent des propriétés des farines dont il est extrait. Le gluten des farines de mauvaise qualité s'hydrate plus facilement et se révèle plus visqueux et moins élastique que celui extrait à partir de farines de bonnes qualités. La teneur en gluten humide et sec correspond au pourcentage de gluten humide et sec par rapport au poids de la farine. Les farines utilisées ont un teneur de gluten humide qui varie de 27 à 37%.

La farine de blé très fort peut avoir des teneurs allant jusqu'à 45 %, tandis que des pourcentages inférieurs à 25 % indiquent une farine faible (par exemple, farine à biscuits).

D'après les résultats obtenus, la farine de blé tendre utilisée est une farine de faible teneur de gluten (10.40 g) c'est-à-dire elle est parfaitement destinée à la préparation des biscuits. Alors que l'orge contient peu de gluten est par conséquent il est inadapté pour la panification et la fabrication de pâtisseries. Néanmoins l'endosperme de l'orge est riche en prolamine (hordéines) avec des teneurs qui varient entre 10 et 17%.

Le taux de gluten de la farine de blé (10.40 g) utilisée dans la formulation de nos cookies est voisin à 10.20 g qui a été trouvé par **Makhloufi et al., (2018)**.

### ❖ **Acidité grasse**

L'acidité grasse est un bon indicateur de l'état de conservation des grains et des farines, les lipides sont peu représentés dans les grains de céréales. Ceux de l'avoine et de maïs en possèdent 5% de leur matière humide tandis que les autres céréales n'en contiennent pas environ 2%.

Les acides gras des lipides du blé, l'orge et le maïs sont riches en acide linoléique (63%, 61% et 60%) respectivement, le maïs est particulièrement riche en acide oléique 26% contre 15% pour le blé et 8% pour l'orge (**Godon, et al., 1998**). L'excès d'acides gras modifie la qualité du gluten : sa cohérence, son élasticité et son coefficient d'hydratation sont réduits (**Calvel, 1972**).

Les valeurs obtenues dans notre étude (0.5% et 0.1% respectivement pour la farine de blé et d'orge) sont supérieures à celles trouvés par Benlemmane, (2012) avec des valeurs de 0.032% pour farine de blé tendre et 0.029% pour la farine d'orge. Cette variabilité est peut-être due à la région, au climat et au stade de maturation des variétés employées.

## 4.2 Analyses physico-chimiques du produit fini

### ❖ Analyses physiques

Les résultats des analyses physiques des cinq formulations de cookies sont indiqués dans le tableau 10.

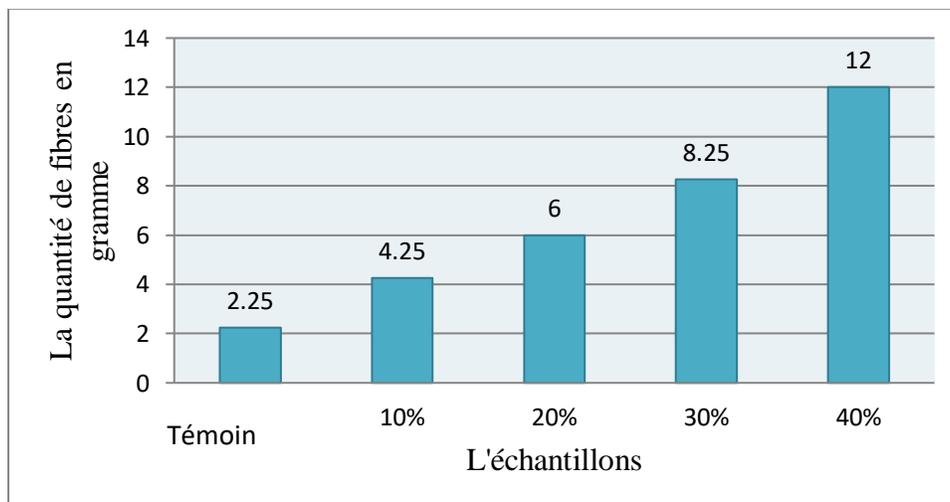
**Tableau 11** : Résultats des analyses physiques des cookies formulés

Paramètres \ Cookies	Témoin	10%	20%	30%	40%
Diamètre (cm)	6.90	7.20	7.00	7.10	6.70
Epaisseur (cm)	0.50	0.50	0.49	0.51	0.50
Poids (g)	19.10	19.20	18.90	19.20	19.00

Les résultats présentés dans le tableau montrent qu'il n'y a pas de différence significative entre les échantillons, ce indique que l'incorporation de la farine d'orge dans la formulation des cookies n'affecte pas la structure physique de cookies.

### ❖ Teneur en fibres

Les résultats de la teneur en fibres des différents échantillons analysés sont rapportés dans la figure 25.



**Figure 26** : Teneur en fibres des cookies formulés

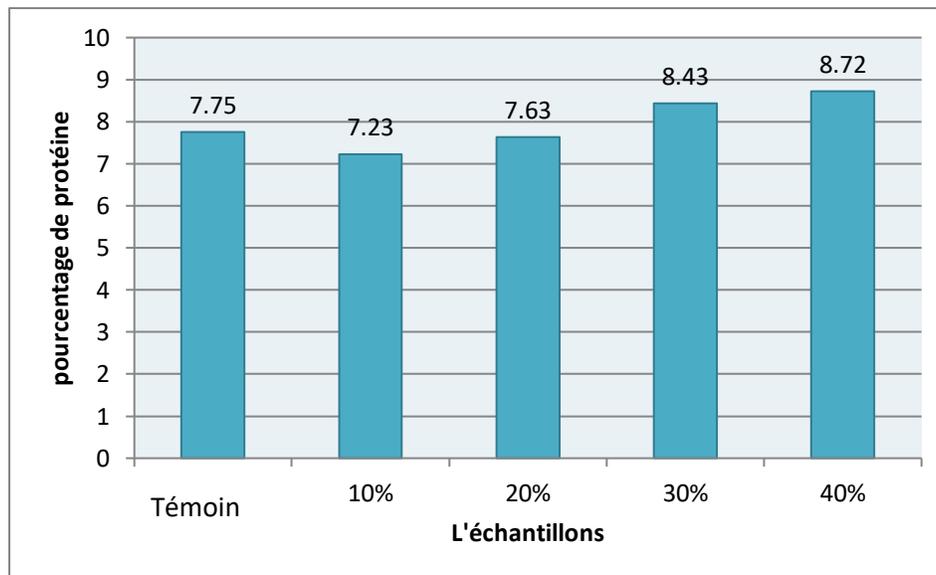
Les fibres alimentaires sont présentes naturellement dans les céréales, les fruits et légumes, les légumineuses et les tubercules. La quantité et la composition en fibres varient en fonction de la source alimentaire (**Ben Mohamed, 2018**).

Les résultats obtenus prouvent qu'il existe une relation proportionnelle entre le taux des fibres et la quantité de farine d'orge, ce qui montre que cette dernière est riche en fibres alimentaires. Nous pouvons ainsi constater que la farine d'orge est une excellente source de fibres alimentaires comparée à la farine de blé.

Le taux de fibre de nos cookies formulés avec l'incorporation de farine d'orge est supérieur à celui des biscuits préparés avec 100% de farine de millet (1.75%) **par Adebisi et al., (2017)**.

#### ❖ Teneur en protéines

Les résultats de la teneur en protéine des différents échantillons préparés sont présentés dans la figure 26.



**Figure 27** : Teneur en protéines des cookies formulés

D'après les résultats indiqués dans la figure, nous observons que la teneur en protéines du cookie témoin est légèrement élevée par rapport à celle qui contient 10% de la farine d'orge, cette diminution est justifiée par la dénaturation (gélatinisation) des protéines au cours de la cuisson

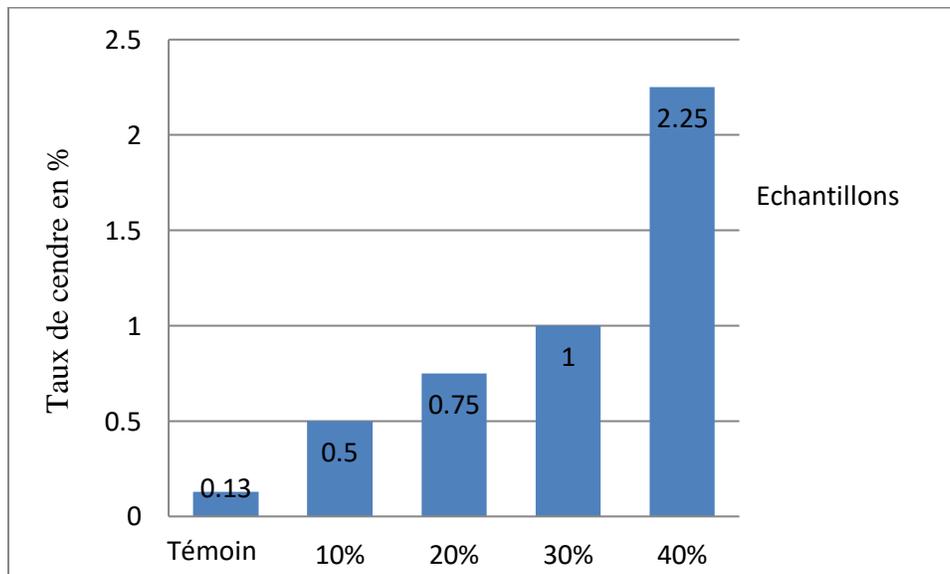
sous l'effet d'une haute température (220- 225°C), puisque les protéines commencent à se dénaturer à partir de 40°C. La teneur en protéines totale a augmenté significativement avec l'augmentation du taux d'incorporation de la farine d'orge. Ce résultat indique que la farine d'orge est riche en protéines et que l'augmentation de la quantité de farine d'orge couvre la perte de protéines pendant la cuisson.

Les protéines jouent un rôle important dans la réaction de brunissement non enzymatique. Ceci pourrait expliquer la diminution de la teneur en protéines au cours de la cuisson (**Ait Aneur, 2006**).

La farine d'orge utilisée dans notre étude possède un taux élevé en protéines comparé à celle utilisée par **Adebiyi et al., (2017)**, qui a rapporté une teneur en protéines de 8.10% pour l'échantillon formulé à partir 100% de farine de millet perlé nigérien.

#### ❖ Taux de cendre

Les résultats du taux de cendre des différents échantillons analysés sont indiqués dans la figure 27.



**Figure 28 :** Taux de cendre dans les cookies formulés

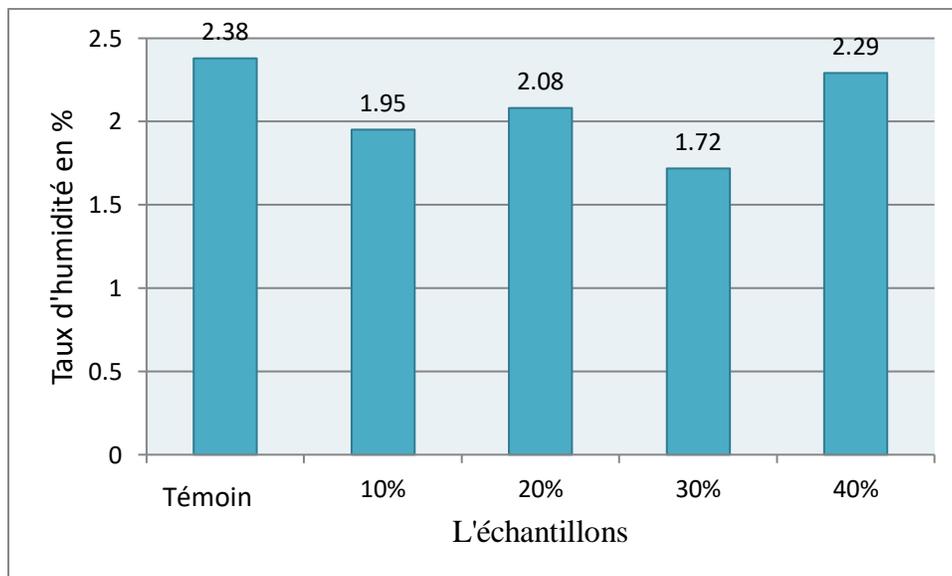
D'après les résultats de la figure, le taux de cendre augmente proportionnellement avec le taux d'incorporation de farine d'orge qui est riche en cellulose (0.5-2.5%). La même augmentation en

taux de cendre a été remarquée dans les biscuits enrichis en différents pourcentages de poudre de châtaigne (Hegazy et al., 2014), et aussi pour les biscuits enrichis en farine de soja (Serrem, 2010), en comparaison avec des biscuits formulés par 100% de farine de blé tendre avec un taux de cendre de 0.13%.

Les résultats obtenus dans notre étude révèlent que l'incorporation de la farine d'orge dans les biscuits améliore sa qualité nutritionnelle. Par ailleurs, il a été rapporté que la teneur en minéraux n'était pas trop affectée par la chaleur au cours de la cuisson contrairement aux vitamines et aux acides aminés (Teshome et al., 2017).

#### ❖ Teneur en eau

Les résultats de la teneur en humidité des échantillons préparés sont présentés dans la figure 28.



**Figure 29** : Teneur en eau des cookies formulés

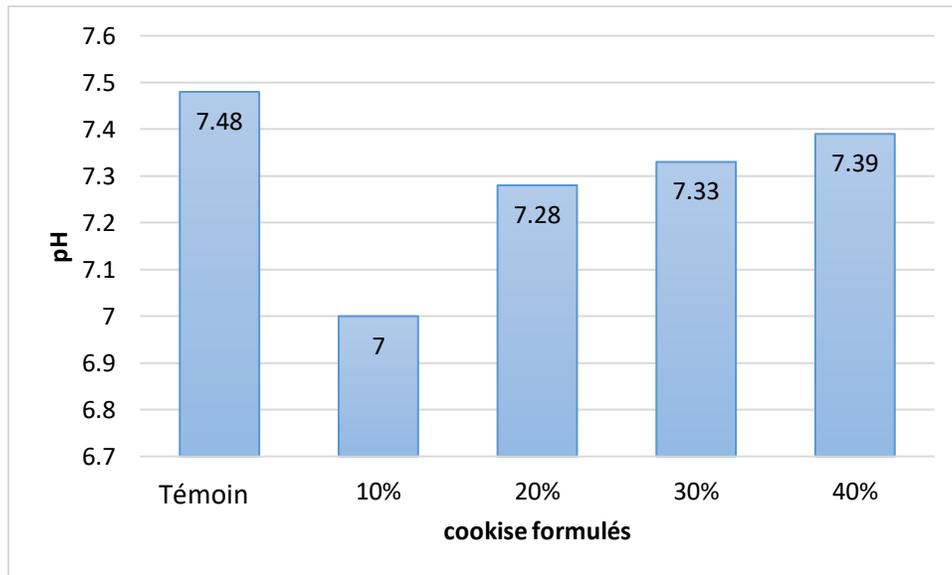
La valeur d'humidité (2.38) de témoin présenté dans la figure dû aux variétés et origine du grain blé tendre et au le conditionnement de la farine utilisée, Les teneurs en eau des cookies sont inférieures à la valeur maximale de la norme recommandée (5 %). Nous avons également remarqué une différence très significative entre la teneur en eau de la farine composée par l'orge et le blé tendre (13.85%) et celle de produit fini (1.72%-2.38%). Ceci est dû à l'effet de la

température de cuisson. Cette faible teneur en eau favorise une bonne conservation du produit fini « cookies ».

Nos valeurs sont proches à celle trouvée par **Safir, (2020)**, qui était de 2.09%, et inférieure par rapport à l'intervalle (4.26% - 5.41%) rapporté par **Makhloufi et al., (2018)**.

#### ❖ pH

Les résultats du pH des différents cookies formulés sont indiqués dans la figure 29.



**Figure 30** : Résultats du pH des cookies formulés

D'après les résultats de potentiel hydrogène présentés dans la figure, nous constatons que le pH des produits finis (cookies) ne dépasse pas 7.48 et reste dans la fourchette des normes recommandée (au maximum 7.5).

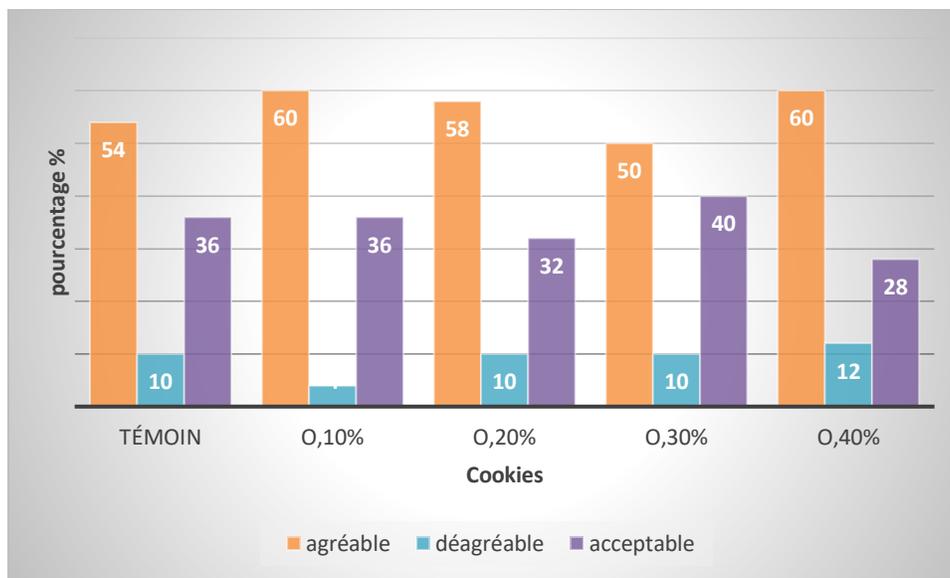
Les résultats obtenus dans notre étude sont proches à l'intervalle (6.9-7.48) rapporté par **Makhloufi et al., (2018)**.

### 4.3 Analyses organoleptiques

Les résultats de l'évaluation sensorielle des cookies préparés à base de farine d'orge et du cookie témoin sont décrits, selon l'aspect, la couleur, le goût, l'odeur et la texture, dans les Figures 30-34.

#### Aspect

La figure 30 présente l'aspect des différents cookies formulés.

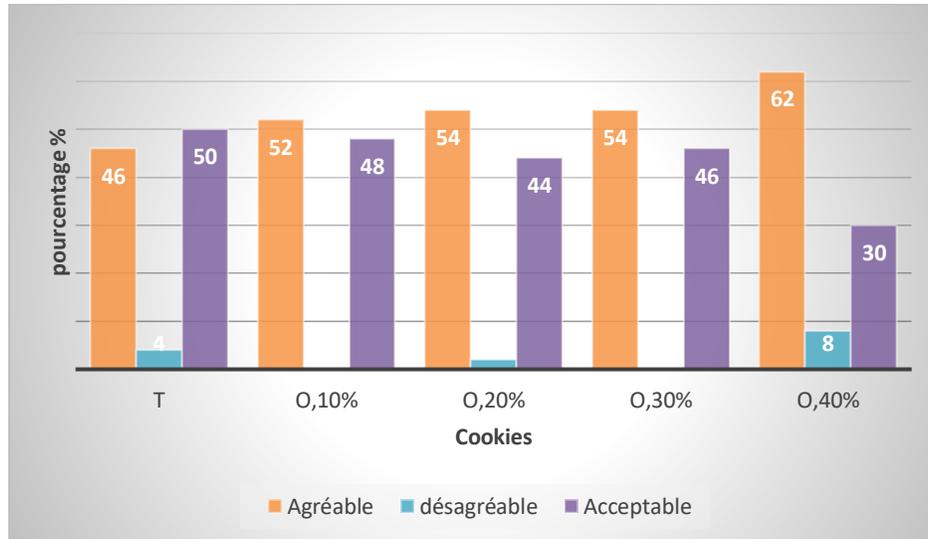


**Figure 31** : Evaluation de l'aspect des cookies formulés.

D'après les résultats illustrés sur la figure 30, la majorité des dégustateurs ont trouvé que les cookies enrichies par la farine d'orge ont un aspect agréable avec des pourcentages compris entre 60% et 50%. Nous avons également notés des pourcentages qui varient entre 4 et 12% pour le caractère « désagréable ».

#### ❖ Couleur

La couleur est le premier paramètre observé par le dégustateur qui lui permet d'apprécier la qualité du produit fini. Les résultats de la couleur des différents cookies élaborés sont présentés dans la figure 31.

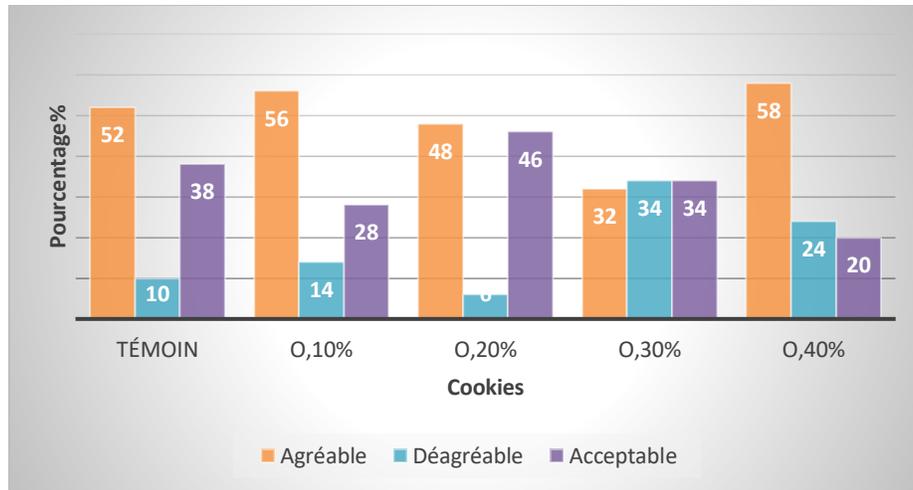


**Figure 32:** Evaluation de la couleur des cookies formulés.

De l'analyse de la figure 31, il ressort que tous les cookies ont été jugés « agréables » par l'ensemble des dégustateurs avec des pourcentages compris entre 62 et 46%. Cependant, le caractère « désagréable » est presque inexistant pour les différents cookies formulés, avec des pourcentages variant entre 0 et 8%. Ces résultats révèlent que l'incorporation partielle de la farine d'orge dans la formulation de cookies n'a aucun effet désagréable sur la couleur de ces derniers.

#### ❖ Goût

Les résultats du goût des cookies sont illustrés dans la figure 32.

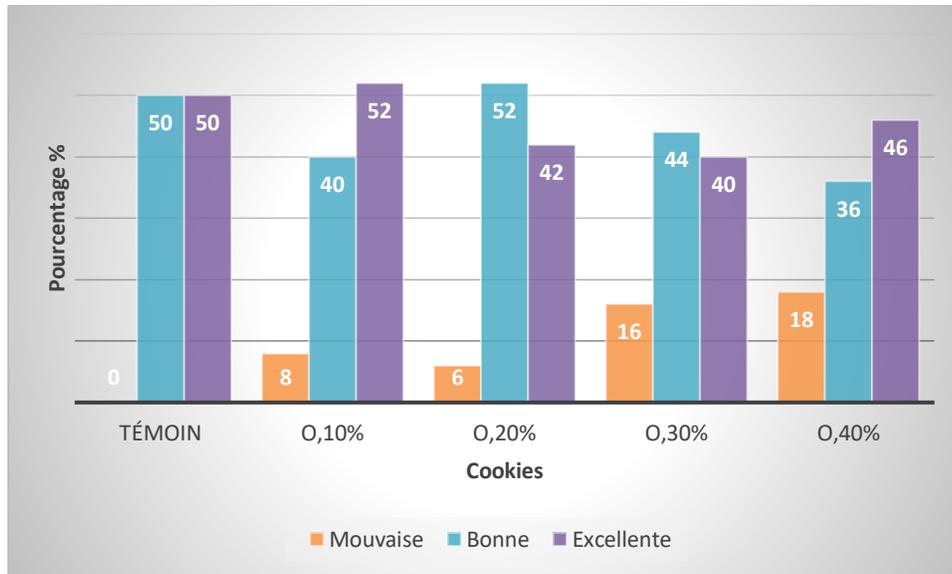


**Figure 33 :** Evaluation du goût des cookies formulés

A partir des résultats obtenus et des comparaisons avec le témoin qui a un goût de 52% « Agréable», nous avons constaté que tous les cookies formulés ont été jugés « Agréables » par l'ensemble des dégustateurs avec un pourcentage variant entre 32 et 58%. Le lot de cookies formulé avec 40% de farine d'orge présente le pourcentage (58%) le plus élevé pour l'appréciation « excellent goût », suivi par le biscuit à 10% de farine d'orge (56%), le témoin avec 52% puis le biscuit avec un taux d'incorporation de 20% de farine d'orge avec 48%. Enfin, le biscuit formulé avec 30% de farine d'orge présente le pourcentage le plus élevé de goût « désagréable » de l'ordre 34%.

#### ❖ Odeur

Les résultats d'odeur des cookies sont présentés dans la figure 33.

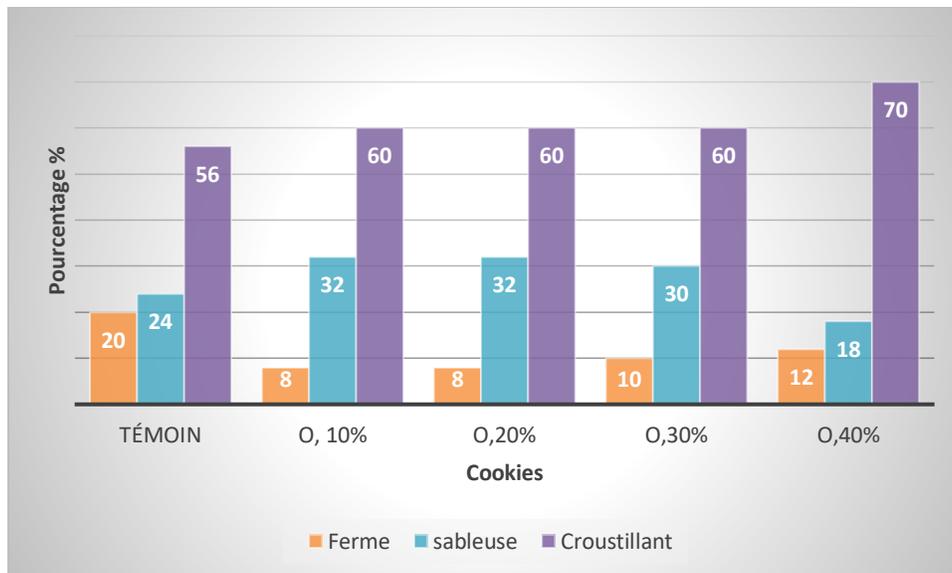


**Figure 34 :** Evaluation de l’odeur des cookies formulés.

Les résultats obtenus désignent que l’odeur des différents cookies formulés est agréable. L’odeur a été jugée « Excellente et Bonne » par l’ensemble des dégustateurs avec des pourcentages très élevés pour l’ensemble des cookies préparés à base de farines de blé et d’orge.

❖ **Texture**

Les résultats de la texture des cookies sont indiqués dans la figure 34.



**Figure 35 :** Evaluation de la texture des cookies formulés.

Les résultats montrent que tous les échantillons analysés sont « croustillants » avec un pourcentage de 60% pour les cookies de 10, 20 et 30% d'incorporation de la farine d'orge dans la formulation. Nous remarquons aussi un pourcentage plus élevé (70%) pour les cookies formulés par 40% de farine d'orge comparé au témoin (58%). Ces résultats montrent que la farine d'orge affecte légèrement la texture des cookies élaborés.

Les résultats de l'analyse organoleptique sont expliqués par le fait qu'il y'a une série de réactions biochimiques qui se développent particulièrement lors de la fabrication des biscuits et qui sont responsables de modifications de la couleur, de la texture et de l'élaboration de l'arôme et du goût. Il s'agit principalement de :

- La réaction de Maillard
- La caramélisation des sucres
- L'oxydation des lipides

Sur le plan biochimique, il y a des modifications physico-chimiques mises en jeu dans les biscuits au cours de la cuisson mais aussi au cours du stockage. Ces changements sont essentiellement d'ordre moléculaire et sont principalement causés par les transformations hydro-thermiques qui affectent les constituants majoritaires de la pâte :

- Cristallisation des sucres.
- Gélatinisation de l'amidon.
- Dénaturation des protéines.
- Auto-oxydation des lipides (**Chevallier, 1999**).

#### 4.4 Rapport énergétique

La valeur énergétique des biscuits formulés à base de 60% de farine de blé et 40% de farine d'orge est calculée par l'équation 4 et indiquée dans le Tableau 11.

$$\text{Valeur énergétique} = \text{Lipides\%} \times 9 + \text{Protéines\%} \times 4 + \text{Glucides\%} \times 4 \quad \dots \text{Équation 4}$$

**Tableau 12** : Valeur énergétique des cookies formulés à partir de 60% farine de blé tendre /40% farine d'orge.

Paramètre recherché	Unité	Résultats
<b>Humidité</b>	%	2.29
<b>Cendres</b>	%	2.25
<b>Lipides</b>	%	32.5
<b>Protéines</b>	%	8.72
<b>Glucides</b>	%	51.24
<b>Fibres</b>	%	12
<b>Valeur énergétique</b>	Kcal/100g	532.4
	KJ /100g	2225.4

# *Conclusion*

# *Conclusion*

Les cookies peuvent convenablement s'intégrer dans une alimentation équilibrée. Hélas, la plupart de ces biscuits ne sont vraiment pas satisfaisants sur le plan nutritionnel. Ainsi, ce travail contribue à formuler une nouvelle recette de cookies à partir de farines de blé tendre et d'orge afin d'augmenter leur teneur en fibres alimentaires et en protéines. Nous nous sommes également intéresser à l'évaluation de l'effet de l'incorporation de la farine d'orge sur les qualités physico-chimiques et organoleptiques des cookies.

Les résultats des analyses physico-chimiques effectuées sur les cookies (orge/blé) nous ont permis de révéler que la teneur en eau de ces biscuits est de 2.29%. Ce résultat est inférieur à la valeur maximale de la norme recommandée (5%), ce qui permet de minimiser les risques d'altération lors du stockage des cookies.

Les cookies (orge/blé) présentent une richesse en nutriments essentiels notamment les minéraux qui se manifestent par un taux de cendres élevé avec des valeurs comprises entre 0.5 et 2.25%.

Les teneurs en protéines totales des cookies analysés varient entre 7.23 et 8.72%. Ces teneurs en protéines élevées jouent un rôle important dans le brunissement non enzymatique des biscuits.

Enfin, la teneur en fibres alimentaires des cookies a significativement augmenté suite à l'incorporation de la farine d'orge avec des valeurs allant de 4.25 à 12 g dans 100g de cookies.

Cette richesse permet de modifier la consistance de la pâte et la texture des produits finaux.

L'incorporation d'orge dans la recette implique des modifications positives dans les caractéristiques organoleptiques des cookies formulés notamment une texture plus croustillante et une couleur brune très appréciable. À la lumière de ces résultats, nous pouvons dire que les

cookies formulés à base de farines de blé et d'orge ont été acceptés par le consommateur algérien.

L'ensemble des résultats auxquels a abouti notre étude constitue une approche de la faisabilité de ce projet de recherche et il serait intéressant de compléter les points suivants :

- Amélioration de la qualité organoleptique des cookies par l'utilisation d'arômes qui masquent l'arrière-goût désagréable de la farine d'orge.
- Amélioration de la qualité nutritionnelle des cookies par l'incorporation d'autres types d'ingrédients alimentaires fonctionnels.
- Mise en place d'un panel expert en analyse sensorielle des biscuits.
- Elaboration d'un plan de commercialisation des cookies à base de farine d'orge sur le marché alimentaire algérien.

## *Références bibliographiques*

## **Références bibliographies**

Abis S (2012) Le blé en Méditerranée sociétés, commerce et stratégies. Économie et territoire relations commerciales CIHEAM Paris : 241-247.

Armand Boudreau, Germain Ménard, le blé : éléments fondamentaux et transformation, Canada. Page 288-292.

Adrian, 1987 : la composition du blé et les aliments céréaliers dans l'équilibre alimentaire. Ed fondation RONAC, Paris.,

ADRIAN et REBACHE ,1996 : caractéristique et intérêts des enzymes. Revue de l'apic, industrie des céréales.

Alliosio-Ouarnier, N., 1999. Caractérisation de la transformation de l'orge en malt par des méthodes de spectroscopie vibrationnelle, thèse de doctorat spécialité biotechnologies et industries alimentaires. INPL, Nancy.

BOUDREAU.A .( 1992) le grain de blé . .25.49 pages: in: "le blé éléments fondamentaux. Et transformation : in BO UDREANA .MENARDG. TIPLESKH 1992. en presse de l'université Laval : paris .439 page

Baik,B-k et Ullrich,S.E. (2008). Barley for food :Characteristica, improvement, and renewed interest. Journal of cereal science, 48(2), 233-242.

Briggs ,1998, Sergio O. Serna- Saldivar : cereal Grains : Properties, processing, and Nutritional Attributes.

Badr, A., Müller, K., Schäer-Pregl, R., El Rabey, H., Effgen, S., Ibraim, H.H., 2000. On the origin and domestication history of barley (*Hordeum vulgare*). Mol. Biol. Evol. 17, 499–510.

Botarela,2012.poacées (gramiées), Description générale.

CALVEL R., 1984.La boulangerie moderne.Edition: Eyrolles. Paris. P 459

- CHEFTEL J.C. et CHEFTEL A., 1984 Introduction à la biochimie et à la technologie des aliments. Volume I. Ed. Tech. et Doc, Lavoisier, Paris, P 381.
- Coutouly G et Marcussen L, 1998 : « Biscuits et biotechnologies » Ed Initiative for boitechnology. 29p
- CRUZ et al, 1988 : conservation des grains en région chaude, 2ème Edition.
- Chevallier S ., Colonna P ., Della Valle G et Lourdin D ., 1999 :  
« Structural modifications of biscuit dough during baking-Role of ingredients »
- Calvel, R., “La Boulangerie Moderne ”, Paris, Eyrolles, (1972).
- Davidson, I., 2016. Biscuit Baking Technology: Processing and Engineering Manual. Academic Press, Elsevier.
- Dai, F., Nevo, E., Wu, D.Z., Comadran, J., Zhou, M.X., Qiu, L., Chen, Z.H., Beiles, A., Chen, G.X., Zhang, G.P., 2012. Tibet is one of the centers of domestication of cultivated barley. Proc. Natl. Acad. Sci. USA 109, 16969–16973.
- DENIS.A.2011.Les biscuits et gâteaux, toute une diversité. Cahiers de Nutrition et diététique, 46(2),p.86-94.
- Ereifej K. I., M. A. Al-Mahasneh & T. M. Rababah. (2006). Effect of Barley Flour on Quality of Balady Bread. International Journal of Food Properties, 9:1. p.39-49, DOI: 10.1080/10942910500471669 . <https://doi.org/10.1080/10942910500471669>
- Feillet P., (2000). Le grain de blé. Composition et utilisation. Mieux comprendre. INRA.
- Fincher, G.B. and Stone, B.A. (1986). Cell walls and their components in cereal grain technology. Advances in Cereal Science and Technology, 8: 207–295.
- FAOSTAT, 2019. Production and Trade.FAO, Rome, Italy.
- FUSTIER P.J. 2006. Influence des fractions de mouture de blé tendre sur les propriétés rhéologiques des pâtes et caractéristiques des biscuits. Thèse de Doctorat, Option Sciences

en Technologies des Aliments, Département des Sciences des aliments et de Nutrition, Faculté des sciences de l'Agriculture et de l'Alimentation, Université Laval, Québec : 54 p.

Graf, M., Amrein, T. M., Graf, S., Szalay, R., Escher, F., and Amadò, R. (2006). Reducing the acrylamide content of a semi-finished biscuit on industrial scale. *LWT-Food Science and Technology*, 39(7), 724-728.

GRANDVOIMNET.P, PRATEX ,1994 : les ingrédients des pates. In la panification français .Ed : Tec et Doc, Lavoisier, paris.

GOUPY, P., M.HUGUES, P. Boivin, and M.J. Amiot .1999.Antioxidant composition and activity of barley (*Hordeum vulgare*) and malt extracts and of isolated phenolic compounds.

Grando, Stefania and Helena Gormez Macpherson. 2005. Food Barley:Importance, Uses and Local Knowledge. *Proceedings of the International*.

Godon, B., Willm,C.,“ les industries de première transformation des céréales”,ed Tec et Doc lavoisier paris, (1998).

Höije, A; GRÖNDAHL, M; TØMMERAAS, K et GATENHOLM, P, 2005). Isolation and characterization of physicochemical and material properties of arabinoxylans from barley husks.*Carbohydrate polymers*, 61(3), 266-275.

Hariri A, 2003. Etude et modélisation de la trempe en malterie, thèse I.N.P.L., spécialité : biotechnologie et industries alimentaires, Nancy (France).

Haffad mohamed chaouki 2020 qualité nutritionnelle et sensorielle des biscuits préparés à base de Hosoney, R.C., 1994. Principles of cereal science and technology.American Association of Cereal Chemists. Inc., St. Paul, p.170. millet mémoire de fin d'étude.

Iain Davidson.,(2018).BISCUIT, COOKIE AND CRACKER PRODUCTION Process, Production and Packaging Equipment.Elsevier Inc.

ISSN : 1144-7605. ISBN : 2-738060896-8. 308p

Jeantet R., Croguennec T., Schuck P., Brulé G., 2007. Science des aliments :

Biochimie- Microbiologie-Procédés-Produits. V2.Technologie des produits  
alimentaires. 191-196

Jean-François ., 1994 : « Influence de la granulométrie du sucre en biscuiteries sèche », p 47.

- Kumar, K.A., Sharma, G.K., Khan, M.A. and Semwal, A.D., 2016. A study on functional, pasting and micro-structural characteristics of multigrain mixes for biscuits. *Journal of Food Measurement and Characterization*, 10(2): 274-282.

KELLOU R, 2008. « Analyse du marché algérien du blé dur et les opportunités d'exportation pour les céréaliers français dans le cadre du pole de compétitivité Quali-Méditerranée. Le cas des coopératives sud céréales, Groupe coopératif Occitan et Audecoop ». centre International de Hautes Etudes Agronomiques Méditerranéennes (CIHEAM), Institut Agronomique Méditerranéen de Montpellier.

Hales N, Rush C (2016) *Algeria Grain and Feed Annual 9*: 1-11.

l'Office algérien interprofessionnel des céréales (OAIC),

Harlan, J.R., Zohary, D., 1966. Distribution of wild wheats and barley. *Science* 153, 1074–1080.

Leonard, W. H. & J. H. Martin (1963) *Cereal Crops*. The MacMillan Company, New York. Orge: pp. 478-543; Avoine, pp. 544-603.

Lai, H.M. and Lin, T.C., 2006. *Bakery products: science and technology*. Bakery products: Science and technology, pp.3-65.

Marko Jukic, Gjore Nakov, Daliborka Koceva Komleni, Nastia Vasileva, Franjo Šumanovac and Jasmina Lukinac., Article; Quality Assessment of Cookies Made from Composite Flours Containing Malted Barley Flour and Wheat Flour.,2022.

Morrell, P.L., Clegg, M.T., 2007. Genetic evidence for a second domestication of barley (*Hordeum vulgare*) east of the Fertile Crescent. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA* 104, 3289–3294.

MARA, « Le secteur agricole et les perspectives de sa promotion et de son développement », Rapport général de la commission nationale consultative sur l'agriculture, 1992, 292 p

Malki M. et Redjel N., « Produire du blé dur et / ou conserver l'écosystème ? Standardisation des politiques, comportement des agriculteurs et dégradation de l'écosystème », Symposium Blé 2000 : Enjeux et stratégies. Alger 7-9 février, 2000, pp: 39-47.

Ministère de l'agriculture et du développement rural, « Statistiques agricoles, superficies et productions », Série B. Ed. Direction des statistiques et systèmes d'informations, 2010-2017, Algérie. 2018.

- Mert, B. and Demirkesen, I., 2016. Reducing saturated fat with oleogel/shortening blends in a baked product. *Food Chemistry*, 199(5): 809-816.

Mancebo, C.M., Picón, J. and Gómez, M., 2015. Effect of flour properties on the quality characteristics of gluten free sugar-snap cookies. *LWT-Food Science and Technology*, 64(1): 264-269.

MAACHE-REZZOUG Z., BOUVIER J.M., ALLAF K., PATRAS C. 1998. Effect of Principal Ingredients on Rheological Behaviour of Biscuit Dough and on Quality of Biscuits. *Journal of Food Engineering*. 35: 23-42p.

Manley, D. (2011). Emulsifiers (surfactants) and antioxidants as biscuit ingredients. In Manley's technology of biscuits, crackers, and cookies (pp. 181-190). Woodhead Publishing.

Moreira, R., Chenlo, F. and Torres, M.D., 2011. Effect of sodium chloride, sucrose and chestnut starch on rheological properties of chestnut flour doughs. *Food Hydrocolloids*, 25(5), pp.1041-1050.

MAACHE-REZZOUG Z. ; BOUVIER J.M ; ALLEF K. ET PATRAS C., 1998 : Study of mixing in connection with the Rheological Properties of Biscuit Dough and Dimensional Characteristics of biscuits. *Journal of food Engineering*, 43-56.

MANOHAR R.S. et RAO PH., 2002 : Interrelationship between rheological characteristics of dough and quality of biscuits; use of elastic recovery of dough to predict biscuit quality. *Food Research International*. 35, pp:807-813.

MAACHE-REZZOUG Z., BOUVIER J.M., ALLAF K., PATRAS C. 1998. Effect of Principal Ingredients on Rheological Behaviour of Biscuit Dough and on Quality of Biscuits. *Journal of Food Engineering*.

MOHAMED Ahmed Ben these de doctorat Impact des fibres alimentaires et des acides gras à chaîne courte sur le dialogue tube digestif, foie et tissus périphériques, dans le cadre d'une surnutrition. 2018

MAKHLouFI Lynda et BOUMAZA Dalila mémoire de fin d'étude Essais d'incorporation de la farine de caroube (*Ceratonia siliqua* L) dans les Cookies en substitution partielle de la farine de blé. 2018

Makhloufi et Boumaza, 2018 : « Essais d'incorporation de la farine de caroube (*Ceratonia siliqua* L) dans les Cookies en substitution partielle de la farine de blé ». Mémoire de Magister, UAMO BOUIRA

Nevo, E., 2012. Evolution of wild barley and barley improvement. In: Zhang, G., Li, C., Liu, X. (Eds.), *Advance in Barley Sciences. Proceedings of 11th Int. Barley Genetics Symposium*. Springer Press, pp. 1-16.

NIQUET.G et LASSERAN, 1989 : Guide pratique, stockage et conservation des grains à la ferme.

O. Bessaoud, J.-P. Pellissier, J.-P. Rolland, W. Khechimi. Rapport de synthèse sur l'agriculture en Algérie. [Rapport de recherche] CIHEAM-IAMM. 2019, pp.82 doit include ONFAA.

Pareyt, B., &Delcour, J. A. (2008). The role of wheat flour constituents, sugar, and fat in low moisture cereal based products: a review on sugar-snap cookies. *Critical reviews in food science and nutrition*, 48(9), 824-839.

Pareyt, B., Talhaoui, F., Kerckhofs, G., Brijs, K., Goesaert, H., Wevers, M. and Delcour, J.A., 2009. The role of sugar and fat in sugar-snap cookies: Structural and Textural Properties. *Journal of Food Engineering*, 90(3): 400-408.

Peter Koehler et Herbert Wieser, 2013: *Chemistry of Cereal Grains*.

Pr ABOUNI Bouziane- Université Djilali Liabes- SBA, Caractérisation de la production de quelques lignées d'orge issues de la première sélection participative en Algérie.

Samira benlemmane 2012 MEMOIRE DE MAGISTER ,FORMULATION DE PAINS COMPOSITES A BASES DE MELANGES DE FARINES DE DIFFERENTES CEREALES.

Surget et Barron; (2005): *Histologie du grain de blé*, Industrie des céréales n 145p

SELSELET A., 1991. *Technologie des céréales et produits dérivés*, Document à l'usage des étudiants. Option : technologie agro-alimentaire. Ed. Tee. et Doc. Lavoisier, Paris, 14 7p

Société Malteurop, 2000. *Elaboration des malts utilisés en brasserie, techniques de*

l'ingénieur. F6200.

Souillah N., 2009 : Diversité de 13 génotypes d'orge (*Hordeum .vulgare* L)

Chastant et Monique, 2010, couscous, boulgour et polenta, transformer et consommer les céréales dans le monde, page 352,397.

Sudha, M.L., Srivastava, A.K., Vetrmani, R. and Leelavathi, K., 2007. Fat replacement in soft dough biscuits: Its implications on dough rheology and biscuit quality. *Journal of Food Engineering*, 80(3): 922-930.

SALEMY , ES. 2016 : « Processus de fabrication des biscuits et gaufrettes ». P : 9.

Souci W et Kraut H ., 1994 : « La composition des aliments ». Tableau des valeurs nutritives, Madpharm scientific publishers.5ème édition.

SAFIR Samia Elaboration d'un biscuit « cookies » sans gluten à base de farine de pois chiche et de farine de fève.mémoire de fin d'étude 2020

Skendi A., Biliaderis C.G., Papageorgiou M., and Izydorczyk M.S. (2010). Effects of two barley  $\beta$ -glucan isolates on wheat flour dough and bread properties. *Food Chemistry*, Volume 119, Issue 3. p. 1159-1167, ISSN 0308-8146.

<https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2009.08.030>

Schlienger,J.L,2017. Prise en charge nutritionnelle dans la prévention et le traitement des maladies chroniques. Vol.11-N°3.

Sadiq Butt, M., Tahir-Nadeem, M., Khan, M. K., Shabir, R., & Butt, M. S. (2008). Oat: unique among the cereals. *European Journal of Nutrition*, 47(2), 68-79.

Redjem N et Derghal W ., 2016 : « Contribution à la formulation d'un biscuit à base de caroube et lactosérum ».P36.

.Reaker et al., 1998 ; Capoutchova et al., 2003

RAHAL-BOUZIANE H, 2015. Orge en Algérie : passé, présent et importance pour la sécurité alimentaire, Face aux Nouveaux Défis.p.08.

RANDRIAMAMPIANINA OnideraHajarivelo 2009- Mémoire de fin d'études – Etude de faisabilité technico-économique de la fabrication de biscuit sablé dans la société UNICOM S.A.

Rahal-Bouziane H,2015. L'orge en Algérie : passé, présent et importance pour la sécurité alimentaire, Face aux nouveau défis

Vavilov, N.I., 1926. Studies on the origin of cultivated plants. *Bull. Appl. Bot. Plant Breeding* 26, 1–248.

Vavilov, N.I., 1951. The origin, variation, immunity and breeding of cultivated plants (Translated from *Theor. Appl. Genet. Russian* by K. Starr Chester).*ChronicaBotanica* 13, 1–364.

Van der Sman, R. G. M., &Renzetti, S. (2019). Understanding functionality of sucrose in biscuits for reformulation purposes.*Critical reviews in food science and nutrition*, 59(14), 2225-2239.

Villarino, C. B., Jayasena, V., Coorey, R., Chakrabarti-Bell, S., & Johnson, S. (2014). The effects of bread-making process factors on Australian sweet lupin-wheat bread quality characteristics. *International Journal of Food Science & Technology*, 49(11), 2373-2381.

WILLM C., 1984. Appréciation de la valeur d'utilisation du blé tendre dans les industries de cuisson. Pp 429 - 447. In GODON B. et LOISEL V., 1984. Guide pratique d'analyses dans les industries des céréales. Edition : Techniques et documentation, Lavoisier. Paris. P 685.

Yackel, W. C., & Cox, C. L. (1992). Application of starch-based fat replacers. *Food Technology*, 46, 146–148.

Zohary, D., Hopf, M., Weiss, E., 2012. *Domestication of Plants in the Old World: The Origin and Spread of Domesticated Plants in Southwest Asia, Europe, and the Mediterranean Basin*. Oxford University Press, Oxford.

Zhou, X., Li, W., Mabon, R., et Broadbelt, L. J. (2017). A Critical Review on Hemicellulose Pyrolysis. *Energy Technology*

[https://www.professeurphifix.net/eveil/botanique\\_ble.pdf](https://www.professeurphifix.net/eveil/botanique_ble.pdf). Consulté le 14/03/2022.

AE/30senso.doc/27/08/99

# *Annexes*

# Annexe 01



**Figure :** Farine en vrac



**Figure :** Farine d'orge

## *Annexe 02*



**Figure :** Four à moufle



**Figure :** Humidimètre de céréales



**Figure :** Centrifugeuse



**Figure :** Les matras de minéralisateur



**Figure :** Dispositif de minéralisation



**Figure :** Dispositif d'extraction des lipides



**Figure :** Dispositif de distillation



**Figure :** Dessiccateur



**Figure :** Entonnoir Buchner



**Figure :** Dispositif d'extraction des fibres totales



**Figure :** Mortier et pilon

## Annexe 03



**Figure :** Un tamis 355 um



**Figure :** Broyeur électrique



**Figure :** Tamisage de farine d'orge

# Annexe 04



**Figure : Pétrin**



**Figure : Ecrémage**



**Figure : Façonnage des cookies**



**Figure : Pétrissage**



# Annexe 05

## Fiche d'analyse sensorielle des cookies

Age :

Fonction :

Dans le cadre d'un test de dégustation, nous vous remercions de prendre quelques minutes de votre temps

		<b>Echelle de notation</b>		
<b>Echantillons</b>	<b>Caractéristique</b>	Désagréable	Acceptable	Agréable
Témoin	Couleur			
C10%				
C20%				
C30%				
C40%				
<b>Echantillons</b>	<b>Caractéristique</b>	Désagréable	Acceptable	Agréable
Témoin	Aspect			
C10%				
C20%				
C30%				
C40%				
<b>Echantillons</b>	<b>Caractéristique</b>	Mauvaise	Bonne	Excellente
Témoin	Odeur			
C10%				
C20%				
C30%				
C40%				
<b>Echantillons</b>	<b>Caractéristique</b>	Ferme	Sableuse	Croustillant
Témoin	Texture			
C10%				
C20%				
C30%				
C40%				
<b>Echantillons</b>	<b>Caractéristique</b>	Désagréable	Acceptable	Agréable
Témoin	Goût			
C10%				
C20%				
C30%				
C40%				

pour évaluer la qualité sensorielle de nos cookies et connaître vos préférences !

C : Cookies.      % : Quantité de farine d'orge ajoutée dans la formulation des cookies.

➤ **Comment évaluez-vous nos cookies de 0 à 5 ?**



➤ **Si vous trouvez nos cookies dans un magasin, l'achèteriez-vous ?**

▪ OUI

▪ NON