

**République Algérienne Démocratique et Populaire**  
**Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique**  
**Université A. MIRA–Béjaïa**

**Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie**  
**Département des sciences alimentaires**  
**Spécialité Qualité des Produits et Sécurité Alimentaire**  
Réf : .....



Mémoire de Fin de Cycle  
En vue de l'obtention du diplôme

**MASTER**

**Thème**

**Elaboration d'un produit alimentaire à base de  
légumineuses**

Réalisé par :

- ✓ **TERKI ADEL**
- ✓ **SAIDANI HAMZA**

Soutenu le : 24/06/2023 à 12h30.

**Devant le jury composé de :**

Président	: <b>CHOUGUI Nadia</b>	Pr
Examineur	: <b>TOUATI Naima</b>	MCA
Encadrant	: <b>MERZOUK Hafida</b>	MCA

Année universitaire 2022/2023

# Remerciements

*Avant tout nous remercions dieu de nous avoir donné la force et le courage pour accomplir ce travail.*

*Nous tenons tout particulièrement à exprimer notre profond respect, notre gratitude et nos plus vifs remerciements à notre promotrice Mme **MERZOUK H.**, de nous avoir aidé à rédiger ce mémoire, d'avoir supervisé ce travail, de nous faire bénéficier de ses grandes compétences, de nous avoir accordée sa confiance et de nous avoir si généreusement accordé son temps et de son savoir et de ses conseils.*

*Nous tenons à remercier également tous les responsables de l'entreprise **LES MOULINS DE LA SOUMMAM** Agro-div, qui ont bien voulu nous accepter pour effectuer un stage pratique, plus particulièrement Mr **HAMMACHI AMINE**.*

*Enfin, nous remercions tous les enseignants qui ont contribué à notre formation et qui nous ont fourni un enseignement de qualité tout au long de notre cursus universitaire.*

*Nos remerciements les plus sincères et les plus profonds sont adressés aux membres de jury pour l'honneur qu'ils nous ont accordé en jugeant ce travail, Notamment*

*Mme **CHOUGUI Nadia** qui nous a fait l'honneur d'évaluer ce travail, et de présider ce jury*

*Mlle **TOUATI Naima** d'avoir bien voulu s'intéresser à ce travail et d'accepter de l'examiner.*

# *Dédicaces*

*Avec l'expression de ma reconnaissance je dédie ce mémoire a ceux qui, quels que soient les termes employés, je n'arriverai jamais à leur exprimer mon amour sincère.*

*A l'homme, mon précieux offre de Dieu qui doit tout mon amour et mon respect. Ce travail est le fruit de tes sacrifices que tu as consentis pour mon éducation et ma formation : Mon cher père Ali.*

*A la femme, qui n'a jamais cessé de me soutenir et de m'épauler pour que je puisse atteindre mes objectifs, qui n'a jamais dit non à mes exigences et qui n'a épargné aucun effort pour me rendre heureux, je t'offre ce modeste travail afin de te remercier pour tes sacrifices et pour l'affection dont tu m'as toujours entourée : Ma chère maman Souhila.*

*A mon très cher frère Hicham, avec qui j'ai Partagé tous les moments d'enfance, tu m'as soutenu réconforter et encourager, que nos liens fraternels se consolident et se pérennisent encore plus.*

*A mon oncle Rahim qui m'a soutenu et qui a contribué à la réussite de ma formation.*

*A mon camarade, Saidani Hamza avec qui j'ai eu le plaisir de partager ce travail.*

*A toute ma famille, mes proches et mes chers amis (Yanis, Billal, Sarah, Maissa, Hayet).*

***Terki Adel***

# *Dédicaces*

*Tout d'abord je prie « ALLAH » de m'avoir donné la force et le courage de terminer mes études.*

*Je dédie ce modeste travail aux personnes qui me sont les plus chères au monde; mon cher père Lounes et ma chère mère Malika, je ne saurai jamais comment exprimer mes sentiments pour leurs sacrifice, tendresse et affection qu'ils ont toujours accomplis avec dévouement pour me permettre de réussir dans ma vie, je leur souhaite une longue vie et prospère.*

*A mon cher camarade Terki Adel avec lequel j'ai partagé ce travail, je lui souhaite plein de bonheur, réussite et une bonne santé.*

*Son aide scientifique et personnelle a été précieuse pour pouvoir surmonter des moments pas toujours faciles et avec qui j'ai eu le plaisir de partager les moments de bonheur.*

*A mes chers frères, Toufik, Rafik, Ali.*

*A mes proches et mes chers amis (Toufik, Massinissa, Youba, Céline).*

*A toute la famille SAIDANI et TERKI.*

*Saidani Hamza*

**Liste des tableaux**

**Liste des figures**

**Liste des abréviations**

## **Table des matières**

**Introduction..... 1**

### **Synthèse bibliographique**

#### **I- Les légumineuses**

I-1- Définition des légumineuses ..... 3

I-2- Structure de la graine des légumineuses ..... 4

I-3- Principales variétés de légumineuses..... 4

I-4- Composition chimique et valeur nutritionnelle des légumineuses ..... 5

I-5- Production mondiale et nationale des légumineuses ..... 6

I-6- Intérêt des légumineuses alimentaires..... 9

#### **II- Régime sans gluten et la maladie cœliaque**

II-1- Le régime sans gluten ..... 11

II-2- Définition de la maladie Cœliaque ..... 11

II-3- Mécanisme pathogénique..... 12

#### **III- Le pois chiche**

III-1- Définition du pois chiche ..... 12

III-2- Taxonomie et classification botanique des pois chiches ..... 13

III-3- Variétés de pois chiche ..... 13

III-4- Composition chimique et valeur nutritionnelle des pois chiche ..... 14

#### **IV- Technologie de biscuiterie**

IV-1- Définition du biscuit..... 15

IV-2- Classification des biscuits..... 15

IV-3- Les madeleines..... 16

IV-4- Procédé de fabrication industrielle d'un biscuit..... 16

IV-5- Critères d'évaluation de la qualité d'un biscuit ..... 17

## **Partie expérimentale**

### **Matériel et méthodes**

#### **I- Matériel végétal**

I-1- Caractéristiques du matériel végétal utilisé..... 19

I-2- Préparation de la farine ..... 19

#### **II-Analyses physico-chimiques**

II-1- Poids de mille grains..... 20

II-2- Granulométrie ..... 21

II-3- Humidité ..... 21

II-4- Taux de cendres ..... 22

II-5- Teneur en glucides totaux ..... 23

II-6- Teneur en lipides ..... 23

II-7- Acidité grasse ..... 24

II-8- Capacité d'absorption de l'eau et de l'huile..... 25

II-9- Dosage des Composés phénoliques..... 26

II-10- Dosage des flavonoïdes..... 26

#### **III/- Analyses microbiologiques**

III-1-Recherche et dénombrement des moisissures..... 27

III-2- Recherche et dénombrement des coliformes thermotolérants ..... 28

III-3- Recherche et dénombrement de *Staphylococcus aureus*..... 28

#### **IV- Elaboration des madeleines**

IV-1- Méthode d'élaboration ..... 29

IV-2- Analyse sensorielle ..... 30

### **Résultats et discussion**

I-1- Poids de mille grains..... 31

I-2- Granulométrie..... 31

I-3-Teneur en humidité, sucres totaux, matière grasse et taux de cendres..... 32

I-4- Capacité d'absorption de l'eau et de l'huile ..... 34

I-5- Teneur en composés phénoliques et en flavonoïdes ..... 36

I-6- Analyses microbiologiques .....	37
I-6-1- Les moisissures .....	37
I-6-2- Les coliformes thermotolérants .....	38
I-6-3- Les <i>Staphylococcus aureus</i> .....	38
I-7- Résultats de l'analyse sensorielle .....	38
<b>Conclusion</b> .....	40

## **Références bibliographiques**

### **Annexes**

### **Résumé**

## Liste des tableaux

Tableau	Titre	Page
<b>I</b>	Classification botanique des légumineuses.	3
<b>II</b>	Principales variétés de légumineuses.	5
<b>III</b>	Description nutritionnelle des légumineuses générales par 100 g de portion comestible sur la base du poids frais brut.	6
<b>IV</b>	Exportateurs majeurs de légumineuses	8
<b>V</b>	Importateurs majeurs des légumineuses.	8
<b>VI</b>	Production des légumineuses au niveau de la wilaya de Bejaia.	9
<b>VII</b>	Prévisions de la production des légumineuses au niveau de la wilaya de Bejaia pour la campagne 2022/2023.	9
<b>VIII</b>	Classification botanique de pois chiches ( <i>Cicer arietinum</i> L)	13
<b>IX</b>	Valeur nutritionnelle pour 100g de pois chiche cru.	15
<b>X</b>	Les étapes de fabrication de la farine du pois chiche.	20
<b>XI</b>	La quantité d'ingrédients utilisée pour la réalisation de la recette.	29
<b>XII</b>	La répartition des fractions granulométriques de la farine de pois chiche.	31
<b>XIII</b>	Résultats des analyses réalisées sur la farine de pois chiche et de blé.	32
<b>XIV</b>	Résultats de la capacité d'absorption de l'eau et de l'huile.	35
<b>XV</b>	Résultats de la teneur en polyphénols totaux et en flavonoïdes.	36

## Liste des figures :

<b>Figure</b>	<b>Titre</b>	<b>Page</b>
1	Structure d'une graine de légumineuses	4
2	Pourcentage de la production mondiale des légumineuses	7
3	Principales variétés de pois chiche	14
4	Pois chiche <i>Kabuli</i> récolté dans la région de seddouk (Bejaia)	19
5	Broyeur de la marque BUHLER-MIAG	19
6	Farine de pois chiche issue de broyage	19
7	Le biscuit (Madeleine) élaboré a base de la farine de pois chiche	29
8	Histogramme déterminant les résultats de l'analyse sensorielle	38

## Liste des abréviations

CAE : Capacité d'absorption de l'eau.

CAH : Capacité d'absorption de l'huile.

EAG : Equivalent d'acide gallique.

EQ : Equivalent de la quercitine.

ES : Extrait sec.

MS : Matière sèche.

Mt : Millions de tonnes.

PMG : Poids de mille graines.

Qx : Quintaux.

La maladie cœliaque est une entéropathie auto-immune induite par l'ingestion du gluten (**Kennedy et Feighery, 2000**). La réaction au gluten par les patients cœliaques conduit à la malabsorption de plusieurs nutriments importants tels que le fer, l'acide folique, les vitamines solubles, les protéines, etc. (**Garnier-Lengline, 2008**), causant ainsi une malnutrition due à une carence en nutriments (**Kumar et al., 2022**).

Selon des études épidémiologiques récentes, la prévalence de la maladie cœliaque dans le monde entier est estimée à 10 %. Un tel taux classe la maladie cœliaque comme l'une des intolérances alimentaires les plus communes (**Briani et al., 2008**).

En Europe, la maladie cœliaque est l'une des maladies gastro-intestinales les plus fréquentes qui touche la population avec une prévalence de 5 % ou plus, cette prévalence reste aussi élevée en Afrique et ignorée en Chine (**Fassano et Catassi, 2001 ; Martucciet al., 2002**).

En Algérie, certaines sources font état de plus de 500 000 personnes atteintes de cette maladie (**Anonyme, 2017**).

Le traitement de cette maladie est diététique, il consiste à supprimer totalement le gluten de l'alimentation et substituer les céréales essentiellement le blé, le seigle et l'orge par d'autres sources telles que le riz et les légumineuses (**Denery-Papini et al., 2001 ; Cegarra, 2006**).

Les légumineuses, à la fois sans gluten et riches en protéines, sont de bonnes candidates. Elles contiennent de 24 à 28% de protéines, 4 fois plus que les céréales, présentent un profil très intéressant en acides aminés essentiels, elles sont très riches en fibres et présentent un indice glycémique relativement bas par rapport aux produits à base de blé (**Foster-Powell et al., 2002**).

Pratiquement, ce régime est simple mais reste difficile à appliquer et peut constituer une véritable atteinte à la vie sociale des malades puisque la farine de blé et le gluten sont présents dans la plupart des produits alimentaires à consommation courante tels que le pain, les biscuits et les pâtes alimentaires, notamment dans les pays où l'alimentation est à base de céréales (**Benatallah, 2009**).

En Algérie, les produits alimentaires existants sur le marché pour cette tranche de population sont pour la majorité importés, coûteux, et peu diversifiés (**Benatallah, 2009**).

Pour cela, la mise à disposition des farines et des produits alimentaires sans gluten sur le marché national devient une nécessité pour améliorer la situation alimentaire, voire l'état nutritionnel des malades cœliaques algériens et de leur donner convivialité et réintégration dans la société.

Dans cette optique, l'objectif de notre travail consiste à élaborer un biscuit sans gluten de type madeleines à base de la farine de pois chiche.

Les légumineuses ayant toutes un apport nutritionnel bénéfique, le choix de la légumineuse à intégrer dans le biscuit s'est fait en se basant sur plusieurs critères tels que la disponibilité locale, la couleur et le goût de la légumineuse dans le but d'avoir un biscuit de couleur et de goût le plus neutre possible et appréciable.

Le choix s'est fait donc sur le pois chiche qui est en plus d'être bon marché comparé aux autres légumineuses et plutôt neutre en goût, est une légumineuse déjà bien appréciée par l'ensemble de la population.

Ce mémoire est constitué de trois parties, une partie de synthèse bibliographique relative aux légumineuses et au pois chiche utilisé pour l'élaboration du biscuit, la maladie cœliaque et à la technologie de biscuiterie, une partie qui décrit les analyses effectuée sur la farine de pois chiche et le biscuit et la dernière partie traite l'interprétation des résultats obtenus.

# **Synthèse bibliographique**

## I- Les légumineuses

### I-1- Définition des légumineuses

Les légumineuses appartiennent à la famille des Fabacées qui est la troisième plus grande famille de plantes au monde, on estime qu'elles comprennent environ 20 000 espèces réparties en 700 genres (**Gursak, 2005 ; Tekdal, 2021**).

L'élément caractéristique de ce groupe de plantes est la gousse qui est une structure enveloppante qui protège les graines pendant leur développement et leur maturation.

Le nom de légumineuses vient du mot latin *legumen*, qui désigne les graines qui sont enveloppées dans la gousse ou les graines récoltées dans les gousses (**Gursak, 2005**).

Selon l'organisation des nations unies pour l'alimentation et l'agriculture (FAO), on désigne par les légumineuses une espèce de plantes riches en nutriments qui existe depuis des millions d'années et qui pousse dans n'importe quelle condition (absence ou présence de l'eau) et dans tous les climats, dont les gousses produisent entre 1 à 12 graines de différentes tailles, formes et couleurs (**FAO, 2016**).

Les légumineuses se répartissent en 3 groupes essentiels qui sont :

- Les légumineuses secs représentées par : les lentilles, les pois cassés, les pois chiches, fèves, haricots secs... (**Rémond et al., 2018**).
- les légumineuses à cosses représentées par : les petits pois et les haricots verts.
- Les oléagineux représentés par : les arachides, les graines de soja, les graines de Colza et les pignons de pins (**Rémond et al., 2018**).

L'étude botanique des légumineuses a permis de les classer selon le tableau I dans le règne *Tracheobionta*, la classe de *magnoliopsida*, la famille des *Fabaceae* (**Aykroyd et al., 1982**).

Tableau I : Classification botanique des légumineuses (**Aykroyd et al., 1982**).

Règne	<i>Plantae</i>
Classe	<i>Magnoliopsida</i>
Sous classe	<i>Rosidae</i>
Ordre	<i>Fabales</i>
Famille	<i>Fabacea</i>

### I-2- Structure de la graine des légumineuses

Durant son cycle de maturation, la graine de légumineuse est fixée à l'enveloppe intérieure de la gousse par un point appelé la radicule (**Ubersax et al., 2003**).

Classiquement, toutes les légumineuses renferment deux cotylédons qui se séparent facilement l'un de l'autre, ce sont donc des Dicotylédones (**Purseglove, 1968**).

En outre, on peut distinguer entre les grains par la taille et la forme des graines, ainsi que la densité et la couleur de leur enveloppe (**Purseglove, 1968**).

La graine de légumineuses est composée principalement de trois parties qui sont de l'extérieur à l'intérieur (**Ubersax et al., 2003**):

- Tégument : appelé aussi testa, qui est l'enveloppe protectrice recouvrant la graine.
- Les cotylédons : représente 85% de la graine, c'est la plus grande partie composant de la graine, ils renferment la réserve d'amidon et de protéines.
- Embryon : qui est composé de trois parties dont : l'épicotyle, l'hypocotyle et la radicule.

La figure 1 montre les différentes parties de la graine de légumineuse.

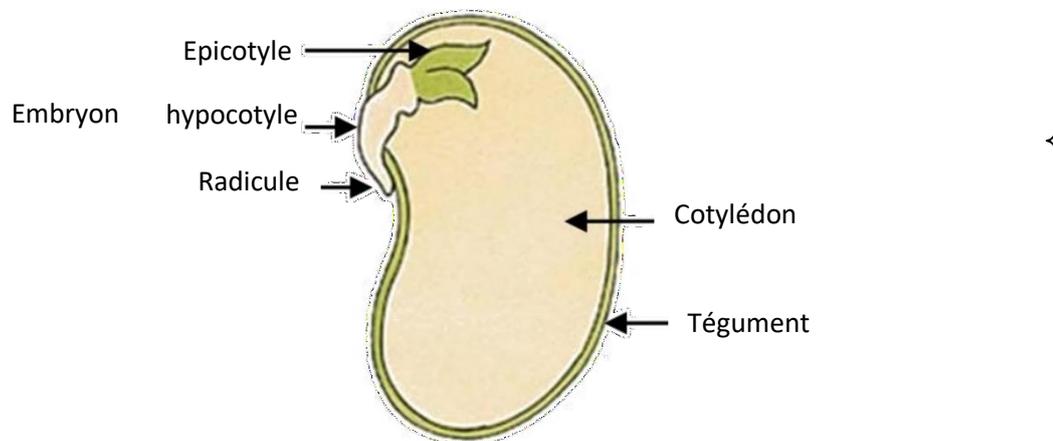


Figure 1 : Structure d'une graine de légumineuses (**Ubersax et al., 2003**).

### I-3- Principales variétés de légumineuses

Les légumineuses ont été parmi les premières cultures vivrières cultivées par l'homme, leur première domestication remonte à l'époque néolithique lorsque l'homme passait de la chasse et la cueillette à l'étape de la sédentarisation et l'agriculture (**Josephe et al., 2016**).

Aujourd'hui, parmi les 20000 espèces de légumineuses recensées, on retrouve seulement une dizaine qui sont cultivées à des fins alimentaires (**Gursak, 2016**).

Les principales variétés de légumineuses sont illustrées dans le tableau N°II.

Tableau II : Principales variétés de légumineuses (**FAO, 2016**).

Nom de la variété	Nom scientifique	Origine géographique
Pois	<i>Pisum sativum</i>	Méditerranéenne (culture d'hiver et printemps)
Pois chiche	<i>Cicer arietinum</i>	
Lentille	<i>Lens culinaris</i>	
Fève – féverole	<i>Vicia faba</i>	
Vesce commun	<i>Viscia sativa</i>	
Lupin	<i>Lupinus</i>	
Haricot Commun	<i>Phaseolus vulgaris</i>	Tropicale (culture d'été)
Pois Cajan	<i>Cajanus Cajan</i>	
Niébé	<i>Vignaun guiculata</i>	
Soja	<i>Glycine max</i>	
Arachide	<i>Arachis hypogea</i>	

### I-4- Composition chimique et valeur nutritionnelle des légumineuses

Les légumineuses comme le pois chiche, les lentilles, le lupin, le pois, le niébé et les haricots constituent une source essentielle de protéines, d'acides aminés essentiels, d'amidon, de fibres, de vitamines et de minéraux pour l'alimentation humaine, elles sont reconnues comme la source de protéines végétales la plus importante dans une grande partie du globe (**Meena et al., 2020**).

Selon la base de données suédoise sur la composition des aliments (**NFA, 2017**), une portion de légumineuses cuites (140 à 190 g) donne moins de 300 calories et fournit une quantité considérable de nutriments, c'est-à-dire jusqu'à 50% de folates, 85% de fibres nutritionnelles, 15% de protéines et de potassium.

Les protéines étant connues comme les éléments constitutifs du corps humain, elle sont principalement acquises à partir des sources d'origine animale (la viande) (**Joshi et al., 2017**).

Les légumineuses sont à leur tour une bonne source de protéines, ils favorisent l'accumulation musculaire et facilitent la réparation et le remplacement des cellules du corps (**Kumar et al., 2022**).

Les légumineuses sont aussi riches en micronutriments comme le magnésium, le phosphore, le potassium, le zinc et le fer qui confèrent de nombreux avantages pour la santé. Leur profil nutritionnel et leur composition chimique permet de les classer comme le candidat le plus robuste parmi les alternatives à l'alimentation à base de viande dans les pays pauvres et en voie de développement, elles sont reconnues comme « viande du pauvre » en raison de leur coût inférieur à celui de la viande (**Sharif et al., 2018**).

Le tableau III illustre la valeur nutritionnelle et la composition chimique des légumineuses.

Tableau III : Description nutritionnelle des légumineuses générales par 100 g de portion comestible sur la base du poids frais brut (**FAO, 2019**).

Nom	Énergie (kcal)	Protéines (g)	Matières grasses (g)	Fibres alimentaires (g)	Glucides (g)	Minéraux (mg)
Lentille	336	20,4	1,8	10,7	49,3	2,67
Fève	300	26,1	1,8	26,3	31,7	3,08
Pois	308	18,44	1,4	26	42,4	2,65
Pois chiche	340	21,2	6,05	12,6	45,5	2,48
Haricot	315	21,1	1,5	15,3	45,5	3,6
Lupin	356	36,17	9,74	18,9	21,47	4,36
Niébé	316	21,2	1,3	15,3	47,2	3,9
Soja	446	36,5	19,9	9,3	30,2	4,6

### I-5- Production mondiale et nationale de légumineuses

#### I-5-1- Production mondiale

La culture des légumineuses relève d'une longue tradition dans presque toutes les régions du monde depuis des siècles (**OCDE, 2022 ; FAO, 2022**) elles jouent un rôle fondamental dans la sécurité alimentaire mondiale où elles constituent une source de protéines

idéale, essentiellement dans les régions où la viande et les produits laitiers ne sont pas accessibles pour des raisons géographiques ou économiques (**Agroline, 2019**).

L'Inde est de loin le plus gros producteur de légumineuses, il a totalisé environ 25 % de la production mondiale ; viennent ensuite le Canada (8 %), la Chine (6 %) puis l'Union Européenne (4 %) (**OCDE, 2022, FAO, 2022**).

La figure N°2 montre le pourcentage de la production mondiale des légumineuses.

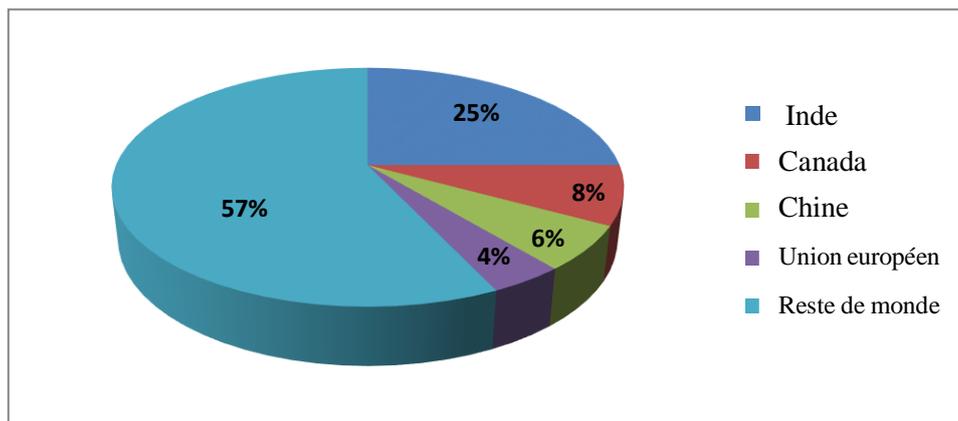


Figure 2 : Pourcentage de la production mondiale des légumineuses (**Agroline, 2019**).

Le secteur connaît une croissance annuelle de 3% à l'échelle mondiale depuis l'année 2000, dominée par l'Asie et l'Afrique avec une production de plus de 25 millions de tonnes au cours de cette dernière décennie (**Agroline, 2019**).

En 2018, elle était de 80 millions de tonnes portée par une forte demande en Inde qui fait partie des principaux producteurs (22 millions de tonnes) suivi du Canada (8 Mt) et de la Chine (6 Mt) (**Agroline, 2019**).

En 2021, le marché mondial des légumineuses a atteint un volume de 100 Mt, après une croissance moyenne de 3,8 % par an (**Agroline, 2019**).

A l'horizon de 2031, la production mondiale devrait s'accroître de 23 Mt. Plus de la moitié de cette hausse sera enregistrée en Asie, et particulièrement en Inde qui devrait produire 7,3 Mt supplémentaires d'ici à 2031 (**OCDE, 2022 ; FAO, 2022**).

Selon la FAO, le haricot représenterait à lui seul près de 33 % de la production mondiale de légumineuses, suivi par le pois chiche (17 %) et le pois sec (16 %) et ce pour une consommation de 8Kg par personne et par an (**FAO, 2020**).

Les échanges internationaux de légumineuses sont passés de 13 Mt à 18 Mt au cours des dix dernières années et devraient atteindre 20 Mt à l'horizon 2031, le Canada restera le principal exportateur de légumineuses avec un volume de 5,6 Mt/an, suivi de l'Australie avec 2,1 Mt/an (OCDE, 2022 ; FAO, 2022 ; Agroline, 2019).

Tandis que l'Inde est aussi le plus gros importateur avec un volume de 6,1 Mt/an, l'Afrique a encore augmenté sa production et sa consommation au cours des dix dernières années et demeure largement autosuffisante (OCDE, 2022 ; FAO, 2022).

Les importateurs et les exportateurs majeurs des légumineuses sont illustrés dans le tableau IV et V.

Tableau IV : Exportateurs majeurs de légumineuses (Agroline, 2019).

Pays	Volume ( Mt )
Canada	5,6
Australie	2,1
Union européen	2,0
USA	1,4

Tableau V : Importateurs majeurs des légumineuses (Agroline, 2019).

Pays	Volume ( Mt )
Inde	6,1
Union européen	1,5
Chine	1,1
Pakistan	1,4

### I-5-2- Production nationale

En Algérie, la culture des légumineuses alimentaires à un intérêt national car leurs grains constituent une source protéique de qualité et à bas prix pour une large couche de la population. Les plus importantes espèces de légumineuses alimentaires rencontrées le plus fréquemment dans les plats algériens sont le pois chiche, le haricot blanc, la lentille et la fève (Agroline, 2019).

Selon Zouaber (2019) spécialisé dans l'import-export des produits; l'Algérie est considéré comme le deuxième consommateur de pois chiche après la Turquie. Un produit qu'il achète essentiellement de l'Inde, du Mexique et des USA. Idem pour le haricot blanc importé majoritairement de l'Egypte, du Canada, d'Argentine, d'Ethiopie et des USA.

Pour rappel, durant la campagne 2015/2016, le volume de la production obtenu était de 770.153 quintaux, contre 240.000 quintaux en 2016/2017; Pour la campagne 2017/2018, elle était à 1,3 millions de quintaux, c'est une production nationale historique jamais atteinte. Mais globalement, les besoins nationaux sont beaucoup plus importants. Ils sont estimés à 2,8 millions de quintaux, d'où le recours à l'importation s'impose (**Agroline, 2019**).

Pour la campagne 2021/2022, l'objectif est de porter la superficie des légumineuses de 85.000 à 218.000 hectares au niveau national pour atteindre l'autosuffisance et remplacer les deux millions de quintaux importés annuellement (**Agroline, 2019**).

Au niveau de la wilaya de Bejaia, selon les données de la direction des services agricoles la production des légumineuses est en baisse remarquable depuis 2019 (**DSA de Bejaia, 2023**).

Durant la campagne 2018/2019, la quantité totale produite était de 8140,00 qx, contre 6265,00 qx durant la campagne 2021/2022 (**DSA de Bejaia, 2023**).

Pour la campagne 2022/2023, les prévisions indiquent que la récolte sera nettement diminuée, seulement 5398,00 quintaux sont attendus selon la chambre de l'agriculture de la wilaya de Bejaia (**Chambre d'agriculture de Bejaia, 2023**).

Les tableaux VI et VII montrent les statistiques de la production des légumineuses au niveau de la wilaya de Bejaia.

Tableau VI : Production des légumineuses au niveau de la wilaya de Bejaia (**DSA, 2023**).

Campagne	Fèves-féveroles (qx)	Pois secs (qx)	Lentilles (qx)	Pois chiches (qx)	Total (qx)
2018/2019	7621,00	227,00	36,00	256,00	8140,00
2019/2020	7725,00	17,00	19,50	438,00	8199,00
2020/2021	5563,00	15,00	80,00	434,00	6092,00
2021/2022	5839,00	20,00	110 ,00	295,00	6265,00

Tableau VII : Prévisions de la production des légumineuses au niveau de la wilaya de Bejaia pour la campagne 2022/2023 (**Chambre d'agriculture de Bejaia, 2023**).

Espèce	Superficie ensemencé (Ha)	Quantité attendue (qx)
Fèves-féveroles	110,6	4860,00
Pois secs	1	15,00
Pois chiches	3,6	418,00
Lentilles	6	105,00
Total	120,6	5398,00

### I-6- Intérêt des légumineuses alimentaires

#### I-6-1- Intérêt nutritionnel

Les graines de légumineuses font partie des féculents, à ce titre elles peuvent être présentes dans chacun de nos repas, avec une consommation minimale recommandée de 2 portions (60-80 g) par semaine. Un de leurs atouts est leur faible index glycémique (**Rémond, 2016**).

Les légumineuses constituent une alternative intéressante aux protéines animales, elles sont considérées comme la source végétale la plus riche en protéines (**singh et al., 2022**).

En plus des protéines, les légumineuses fournissent également une bonne quantité d'autres composés phytochimiques essentiels à la santé humaine. Ils possèdent une bonne quantité de micronutriments, de vitamines, d'amidon, de fibres alimentaires, d'acides gras nécessaires, de flavonoïdes et de composés phénoliques (**Rémond, 2016**).

L'introduction des légumineuses dans l'alimentation humaine joue un rôle important dans l'élimination de la carence en protéines et la protection contre plusieurs maladies (**Kumar et al., 2022**), elles sont considérées comme des « aliments santé ». La consommation régulière de légumineuses améliore la santé cardio métabolique et réduit le risque de diabète de type 2, d'obésité et de plusieurs cancers (**Kouris et al., 2016**), entraîne une diminution des taux de glucose et d'insuline à jeun (**Ha et al., 2014**), réduit le cholestérol ainsi que le risque de développement du cancer colorectal (**Zhu et al., 2015**).

La présence d'amidon, de fibres alimentaires et d'oligosaccharides résistants dans un régime à base de légumineuses favorise les microbes bénéfiques à l'intérieur de l'intestin et minimise le risque de cancer du côlon (**Maphosa et Jideani, 2017**).

De plus, leur consommation peut permettre d'atteindre un bon niveau de rassasiement et de satiété, évitant ainsi les grignotages entre les repas, luttant ainsi contre le surpoids et l'obésité (**Afshin et al., 2014**).

### **I-6-2- Intérêt agronomique et écologique**

Les légumineuses contribuent à l'agriculture et à l'environnement en plus d'être une source essentielle de nourriture pour la population. Leur capacité à fixer l'azote peut améliorer la fertilité du sol en libérant une matière organique de haute qualité et facilitent la circulation des nutriments du sol et la rétention de l'eau, comme ils aident à éviter l'érosion du sol en tant que couverture végétale (**Bichel et al., 2016**).

L'introduction des légumineuses dans les productions agricoles améliore le rendement de la culture suivante et permet de diminuer les doses d'apport d'azote pour la culture suivante ce qui permet ainsi d'économiser les achats d'engrais et de diminuer l'émission des gaz à effet de serre, ils sont donc considérés comme des engrais verts (**Agroline, 2019**).

## **II- Régime sans gluten et la maladie cœliaque**

### **II-1- Le régime sans gluten**

Le gluten est un ensemble de protéines qu'on peut retrouver dans certaines céréales (le blé, l'orge, le seigle...) (**Claire, 2018**).

Le régime strict sans gluten correspond essentiellement à l'arrêt total de la consommation du gluten dans l'alimentation, exclure tout produit à base de blé, seigle, orge et souvent d'avoine, Éviter la consommation du gluten concerne bien sûr la farine et le pain, mais pas seulement ! Car le gluten est presque présent partout dans notre alimentation (biscuits, pizza, la semoule ...). Par ailleurs, les étiquettes alimentaires doivent être décryptées avec la plus grande rigueur car le gluten se cache aussi sous diverses appellations : arômes, malt, matières amylacées, agents antiagglomérants, épaississants (**Claire, 2018**).

Une liste complète et officielle des produits autorisés et interdits dans un régime sans gluten est publiée par l'AFDIAG (Association française des intolérants au gluten). D'autant plus que le régime sans gluten est donc particulièrement contraignant et demande au quotidien une extrême vigilance (**Rossant et al., 2023**).

### II-2-Définition de la maladie Cœliaque

La maladie cœliaque est une maladie chronique et auto-immune de l'intestin, défini comme une hypersensibilité digestive avec une réponse immunitaire muqueuse inappropriée à une séquence de certaines protéines dont les prolamines du blé, survenant chez un sujet génétiquement prédisposé (**Coattre nec et al., 2015**).

Cette intolérance au gluten, souvent peu symptomatique, provoque des diarrhées, un amaigrissement et une anémie dans les formes les plus sévères (**Chevallier, 2021**).

On peut diagnostiquer la maladie cœliaque par un dosage des anticorps anti-transglutaminases de classe IgA, ou en cas de déficit en IgA, par les anticorps anti-transglutaminases de classe IgG (**Coattre nec et al., 2015**).

Le traitement actuel repose sur l'exclusion définitive des aliments contenant le gluten et leurs dérivés en les remplaçant par les légumineuses ou les céréales sans gluten (riz, maïs) (**Coattre nec et al., 2015**).

### II-3- Mécanisme pathogénique

La muqueuse de l'intestin grêle est tapissée de petites saillies en forme de doigts appelées *villosités*. Ces villosités ont des terminaisons filiformes ressemblant à des poils et dénommées *microvillosités* qui attrapent et absorbent les nutriments provenant de l'alimentation (**Atenodoro et al., 2021**).

Les villosités s'aplatissent ou disparaissent par la production de certains anticorps du système immunitaire qui sont stimulés par une protéine présente dans le blé, qui est le gluten (**Atenodoro et al., 2021**).

La déformation de ces villosités et l'absence de leurs terminaisons filiformes altèrent la structure de la muqueuse intestinale et entraînent des lésions. La surface lisse qui en résulte provoque une malabsorption des substances nutritives (**Atenodoro et al., 2021**).

Cependant, lorsque le patient cesse de consommer des aliments contenant du gluten, l'intestin grêle reprend ses fonctions normales, et sa surface retrouve son aspect habituel en brosse (**Atenodoro et al., 2021**).

## III- Le pois chiche

### III-1- Définition du pois chiche

Le pois chiche (*Cicer arietinum*), souvent connu sous le nom haricot garbanzo ou gramme de Bengale, c'est la légumineuse la plus importante d'Asie du sud, le pois chiche est l'une des premières cultures céréalières cultivées par l'homme et a été découverte dans les sites archéologiques du moyen orient datés huitième millénaire avant notre ère (**Chaillot, 2022**).

Les protéines du pois chiche sont considérés comme meilleurs en comparant à celles d'autres cultures de légumineuses (**Ram et al., 2013**).

### III-2-Taxonomie et classification botanique des pois chiches

Taxonomiquement, le pois chiche se rattache à la famille des *fabaceae*, genre *Cicer* et espèce *Cicer arietinum* L. (**arkroyd et al., 1978, De Falcao et al., 2010**).

Sur le plan botanique, le pois chiche cultivé (*Cicer arietinum*) est une plante herbacée annuelle dont la hauteur varie de 20 à 100 cm, il existe aussi des variétés qui dépassent 1m de hauteur et qui sont cultivées essentiellement en Russie (**De Falcao et al., 2010**).

La plante possède un système racinaire profond ce qui montre son adaptation à des zones sèches (**De Falcao et al., 2010**).

Les gousses ont une longueur de 8 à 14mm et une largeur de 6 à 15mm, chaque gousse contient généralement deux graines de pois chiche (**De Falcao et al., 2010**).

Toutes les parties de la plante sont couvertes de poils glandulaires et non glandulaires ; ces poils sécrètent l'acide malique qui défend la plante contre les ravageurs suceurs (insectes).

La classification botanique du pois chiche est donnée dans le tableau VIII.

Tableau VIII : Classification botanique de pois chiches (*Cicer arietinum* L.) (**USDA, 2023**).

Rang	Nom scientifique et nom usuel
Royaume	<i>Plantae</i> - Plantes
Sous-royaume	<i>Trachéobionta</i> - Plantes vasculaires
Classe	<i>Magnoliopsida</i> - Dicotylédones
Sous-classe	<i>Rosidés</i>
Famille	<i>Fabaceae</i>
Genre	<i>Cicer</i> L. – cicer
Espèce	<i>Cicer arietinum</i> L. - pois chiches

### III-3- Variétés de pois chiche

Sur la base de la taille et la couleur ainsi que la forme des graines, on distingue deux types ou variétés de pois chiche (**Planquaert et al., 1991**) :

- La variété *Desi*, qui est des petites graines de couleur brun foncé recouvertes d'un tégument épais et strié. Elle est cultivée essentiellement en Inde, en Éthiopie, au Mexique et en Iran.
- La variété *Kabuli*, qui est des graines plus grosse de couleur crème claire recouvertes d'un tégument fin et lisse. Elle est cultivée essentiellement dans les pays méditerranéens, en Amérique du sud et en sud-est de l'Asie.

La figure 3 montre les principales variétés du pois chiche cultivés au monde.

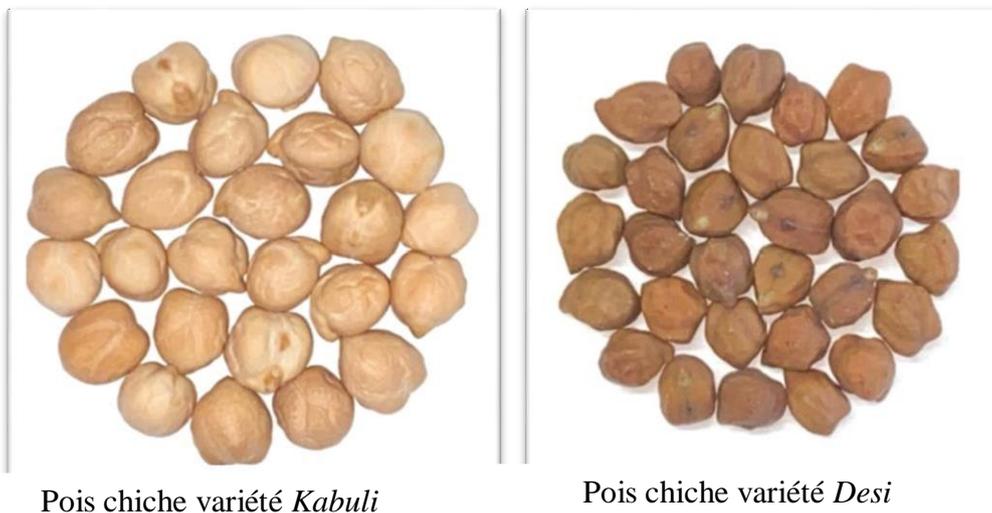


Figure 3 : Les principales variétés de pois chiche (**Sanjeewa et al., 2010**).

### III-4- Composition chimique et valeur nutritionnelle des pois chiches

Le pois chiche est une bonne source de glucides à faible indice glycémique et de protéines. L'amidon est le principal glucide de stockage dont sa teneur est de 45,5g suivi de fibres alimentaires avec une teneur de 12,4g, la qualité des protéines est considérée comme meilleure que celles des autres légumineuses avec une teneur de 21,2g. Les lipides sont présents en faible quantité, qui est d'environ 5,4g (**Hirdyani, 2014**).

Le pois chiche contient des minéraux importants sur le plan nutritionnel tel que le fer, magnésium et le potassium ainsi qu'une teneur importante en vitamine B9 (557mg/100g). Le pois chiche cuit apporte 340 kcal/100g. C'est un bon contributeur à l'apport d'énergie (**Hirdyani, 2014**).

Selon **Zubiriya (2021)** il est considéré comme :

- Une excellente source de protéines végétales ;
- Un aliment riche en fibres alimentaires ;
- Favorise le transit intestinal ;
- Augmente l'effet de satiété ;
- Préserve la santé cardiovasculaire.

La valeur nutritionnelle du pois chiche est donnée dans le tableau IX :

Tableau IX : Valeur nutritionnelle pour 100g de pois chiche cru (**FAO, 2016**).

Nutriments	Apports pour 100 g de pois chiche
<b>Calories</b>	340kcal
<b>Protéines</b>	21.2g
<b>Glucides</b>	45.5g
<b>Lipides</b>	5.4g
<b>Fibres alimentaires</b>	12.4g
<b>Fer</b>	5.5mg
<b>Magnésium</b>	146mg
<b>Phosphore</b>	342mg
<b>Potassium</b>	1116mg
<b>Vitamine B9</b>	557mg

## IV- Technologie des biscuits

### IV-1- Définition du biscuit

Le mot biscuit est dérivé du mot latin « *panis biscoctus* » qui signifiait le pain cuit deux fois, il est nommé biscuits de navire car il est généralement fait et consommé par les marins dès le moyen âge. Le Dr Samuel Johnson a donné la définition principale du biscuit comme « pain dur et sec, fait pour transporter en mer » (**Arepally et al., 2020**).

Les Britanniques ont été les premiers à fabriquer le biscuit, selon eux on désigne par le mot biscuit une large gamme de produits fabriqués essentiellement à base de la farine et de l'eau tels que les craquelins, les biscuits, les gaufrettes et les cookies (**Manley, 2011**).

Aujourd'hui, les biscuits servent d'aliment de base, de cadeaux de luxe, de collations, d'aliments pour nourrissons, de produits diététiques (**Sharma et al., 2011**) ; ils sont devenus l'une des collations les plus populaires et les mieux acceptées dans le monde entier parmi tous les groupes d'âge. Cela est dû au fait que les biscuits sont une bonne source d'énergie et sont des produits « prêts à être consommés » (**Fang cheng et al., 2016**).

### IV-2- Classification des biscuits

La classification des biscuits sur la base de la composition chimique et de la méthodologie de transformation est difficile en raison de la très grande variété des produits et multiplicité des composants pouvant entrer dans leur formulation, cependant une classification en trois types peut être envisagée en se basant sur la consistance de la pâte avant cuisson et en fonction des attributs sensoriels après la cuisson (**Feillet, 2000**).

#### ❖ Les pâtes dures ou semi-dures :

C'est une fabrication sans œufs donnant naissance au type de biscuits secs sucrés et salés, La pâte utilisée est similaire à la pâte à pain, ce type est représenté par les sablés, les petit beurre, les craquelins, etc. (**Feillet., 2000**).

#### ❖ Les pâtes Liquides :

C'est une fabrication avec les œufs donnant naissance à deux types des biscuits sucrés : les biscuits secs tels que les boudoirs, les biscuits moelleux avec une consistance plus douce tels que les génoises, les madeleines, les cakes et les macarons (**Feillet, 2000**).

La particularité de ces biscuits est leur richesse en œufs et en matières grasses et le sucre.

#### ❖ Les pâtes ayant une forte teneur en lait ou en eau :

Ces pâtes contiennent peu de matières grasses, c'est le cas des pâtes à gaufrettes (**Feillet, 2000**).

### IV-3- Les madeleines

En 1755, le château Stanislas de Commercy (lorraine/France) a vu naître un petit biscuit qui est la madeleine, elle est préparée traditionnellement à partir de la farine de blé, sucre, huile / graisse, le lait et des œufs (**Cervera, 2013 ; Mehl, 2020**).

Sa texture douce et spongieuse ainsi que son bon goût l'a transformé en un aliment largement consommé par toutes les classes d'âge (**Cervera, 2013**).

Actuellement, dans le monde entier le marché des gâteaux croît avec environ 1,5% par an.

Les madeleines sans gluten présentent un intérêt actuel non seulement pour les personnes qui ont la maladie cœliaque, mais aussi pour les personnes qui sont intéressées par les produits sans gluten (**Palacio et al., 2018**).

### **IV-4- Procédé de fabrication industrielle d'un biscuit**

Certaines étapes du procédé de fabrication diffèrent selon la consistance de la pâte avant la cuisson (dure, molle ou liquide), le temps de repos de la pâte, l'épaisseur et la taille des biscuits et encore la température et le temps de cuisson (**Davidson, 2018**).

#### **IV-4-1- Pesée des matières premières (ingrédients) :**

Dans un premier temps, les matières premières sont pesées conformément aux quantités indiquées dans la recette. Cette étape se fait automatiquement à l'aide d'une doseuse-peseuse ou une balance électronique (**Davidson, 2018**).

#### **IV-4-2-Mélange des matières premières :**

Les ingrédients sont ensuite déposés dans un mélangeur et pétri de manière à obtenir une pâte homogène (**Davidson, 2018**).

#### **IV-4-3- Laminage et découpage :**

L'étape de laminage est indispensable pour obtenir des biscuits avec l'épaisseur voulue, elle se réalise à l'aide d'un laminoir qui remplace mécaniquement le rouleau à pâtisserie.

La pâte est ensuite acheminée sous un rouleau de découpe pour donner la forme souhaité aux biscuits ; dans le cas des gâteaux fabriqués à base des pâtes liquides, cette étape est remplacée par le moulage (**Davidson, 2018**).

#### **IV-4-4- Cuisson :**

Les biscuits préalablement découpés ou mis dans un moule passent à travers une chambre de cuisson. Le temps et la température de cuisson varient selon les caractéristiques souhaitées du produit fini (**Davidson, 2018**).

La cuisson à une importance primordiale, car c'est d'elle que dépend le goût et la saveur.

#### **IV-4-5- Refroidissement :**

En sortant du four, les biscuits sont refroidis à température ambiante pendant leur trajet sur les convoyeurs de refroidissement. La durée est deux fois celle du temps de cuisson (**Davidson, 2018**).

#### **IV-4-6- Conditionnement :**

En fonction de la fragilité des biscuits, le choix de la méthode de conditionnement prend toute son importance. Il existe différents types d'emballage qui sont utilisés pour la

conservation des biscuits comme : le carton, aluminium et plastique, sous forme de barquettes cylindrique et rectangulaire (**Davidson, 2018**).

### **IV-5- Critères d'évaluation de la qualité d'un biscuit**

La texture, la couleur, le goût et ainsi que l'arôme, la saveur et la qualité nutritionnelle et microbiologique sont des paramètres à prendre en considération lors de l'évaluation de la qualité d'un biscuit (**Purlis, 2010**).

#### **1- Texture**

La texture est une propriété importante de la qualité finale des biscuits qui influence fortement son acceptabilité par le consommateur. Le paramètre le plus important pour évaluer la qualité des produits céréaliers est la dureté.

Pour les biscuits à pâte molle riche en matière grasse et en œuf, la texture préférée est la spongieuse, pour les biscuits à pâtes dures ou semi dures, la texture préférée est la craquante et facile à fracturer pendant la mastication (**Bajaj et al., 2006**).

#### **2- Couleur**

La couleur est le premier critère que le consommateur remarque immédiatement, elle influence l'impression sensorielle subjective.

Le temps et la température de cuisson jouent un rôle important sur la couleur finale du biscuit, généralement un biscuit bien cuit et qui présente une couleur brune dorée est appréciée par le consommateur (**Lara et al., 2011**).

#### **3- Goût, arôme et saveur**

Le goût d'un biscuit se réfère à la sensation gustative ressentie en le mangeant, il peut varier en fonction des ingrédients utilisés pour le préparer (sucré, salé) (**Fellows, 2000**), tandis que l'arôme est l'odeur du biscuit, l'arôme peut provenir d'ingrédients tels que la vanille, les extraits de fruits, le zeste des agrumes, les épices (**Fellows, 2000**).

La saveur fait référence à la combinaison du goût et l'arôme (**Fellows, 2000**).

#### **4- Qualité nutritionnelle**

La qualité nutritionnelle est déterminée par la quantité et la qualité des nutriments contenus dans les matières premières utilisées pour la fabrication d'un biscuit (glucides, lipides, protéines, vitamines, minéraux) (**Benkadri, 2010**).

### 5- Qualité microbiologique

La qualité microbiologique dépend essentiellement de la qualité microbiologique de la farine utilisée ainsi que les autres ingrédients (les œufs, le lait, matière grasse), car elles représentent un milieu favorable pour le développement des microorganismes tels que les levures et les salmonelles.

D'autre part elle est liée à la nature de l'emballage (papier, aluminium, plastique) ainsi que le procédé de fermeture d'un paquet (**Benkadri, 2010**).

# Partie expérimentale

# **Matériel et méthodes**

## I- Matériel végétal

### I-1- Caractéristiques de matériel végétal utilisé

Un échantillon de 12 kg de pois chiche de la récolte de 2022 à été récupéré de chez un paysan de la région de Seddouk Wilaya de Bejaia, il s'agit de la variété *Kabuli* de couleur crème claire recouvert d'un tégument fin et lisse (figure 4).



Figure 4 : Pois chiche *Kabuli* récolté dans la région de seddouk (Bejaia).

### I-2- Préparation de la farine

Le broyage de la farine de pois chiche a été effectué au niveau de l'entreprise d'accueil **CIC, Les Moulins de La Soummam (Agrodiv) Sidi-Aich** à l'aide d'un broyeur (figure 5 et 6) de la marque **BUHLER-MIAG** (Italie).

Le Tableau X illustre les différentes étapes de préparation de la farine de Pois chiche.



Figure 5 : Broyeur de la marque BUHLER-MIAG (Italie).



Figure 6 : Farine de pois chiche issue du broyage.

Tableau X : Les étapes de fabrication de la farine de pois chiche.

Etape de Transformation	Principe
Triage Manuel	- Le triage est effectué manuellement pour éliminer les petits cailloux et les matières étrangères ainsi que les graines endommagées.
Décorticage	- Les graines de pois chiches ont subi un décorticage manuel à l'aide d'un pilon pour but de réduire la taille des graines.
Broyage	- Cette étape a pour but de réduire la taille des graines en particules fines. - Le broyage est réalisé à l'aide d'un broyeur à l'échelle laboratoire de la marque italienne BUHLER-MIAG
Tamissage et conditionnement	- Cette étape a pour but de séparer l'enveloppe et d'obtenir la farine. - Elle est réalisée à l'aide d'un tamis traditionnel. - La farine obtenue est conditionnée dans des sacs en plastique bien fermé.

## II-Analyses physicochimiques

### 1- Poids de mille grains

Le poids de mille grains (PMG) est un paramètre important utilisé dans les études de recherche sur les grains, il est déterminé afin d'accroître la précision et la fiabilité de l'identification des variétés de blé et d'autres graines.

La détermination du PMG donne une idée sur le poids de la graine ainsi que sur le rendement en farine (Lüy et al., 2013).

#### ❖ Mode opératoire :

Une quantité de grains entiers non cassés et sans impuretés a été prélevée au hasard. Les grains ont été ensuite comptés à l'aide du compteur automatique *Numigral* qui permet de comptabiliser les graines une à une jusqu'à 1000, puis le poids de 1000 grains a été pesé et enregistré.

#### ❖ Expression des résultats :

Les résultats sont déterminés selon la méthode spécifiée dans l'ISO 520:2010 par la formule :

$$\text{PMG (g ms)} = P \times [(100 - H) / 100]$$

Avec :

P : Masse en grammes de 1000 grains entiers.

H : Teneur en humidité des grains (%).

## 2- Granulométrie

La granulométrie de la farine consiste à mesurer la distribution des tailles de particules présentes dans un échantillon. La taille des particules peut influencer les propriétés rhéologiques de la farine, une distribution granulométrique optimale peut garantir les caractéristiques souhaitables pour la préparation des aliments, tels qu'une texture appropriée, une meilleure levée dans les produits de boulangerie, ou une absorption adéquate des liquides (Sonaye et al., 2012 ; Melcion, 2002).

### ❖ Mode opératoire :

- **Préparation de l'échantillon** : un échantillon de 100g de farine a été prélevé en s'assurant qu'il est bien homogène.

- **Tamissage** : un jeu de tamis de différentes tailles a été utilisé. Les tamis ont été empilés du plus gros au plus fin (905 $\mu$ , 450 $\mu$ , 355 $\mu$ , 280 $\mu$ , 155 $\mu$ ). L'échantillon a été placé sur le tamis supérieur et secoué doucement pendant un certain temps pour permettre aux particules de passer à travers les mailles des tamis.

- **Pesée des fractions** : Après le tamissage, les particules qui sont restées sur chaque tamis ont été récupérées. Chaque fraction obtenue a été ensuite pesée pour déterminer la masse des particules de différentes tailles.

- Une fois l'agitation est terminée, le refus de chaque tamis est pesé puis divisé par le poids total pour donner le pourcentage de refus sur chaque tamis (Sonaye et al., 2012).

### ❖ Expression des résultats :

Pour se faire on utilise l'équation suivante :

$$\% \text{ Retenu} = \frac{P_{\text{refus}}}{P_{\text{total}}} \times 100$$

$P_{\text{refus}}$  : Le poids de refus de chaque tamis.

$P_{\text{total}}$  : Le poids total de la prise d'essai (100g).

## 3- Humidité

La teneur en eau est la perte de masse après séchage du produit à une température de 130-133°C, après broyage éventuel du produit. Le résultat est exprimé en pourcentage (Journal officiel de la république algérienne n° 08, 2013).

**❖ Mode opératoire :**

Une nacelle vide a été pesée à l'aide d'une balance analytique de marque Sartorius MC 210 après séchage à l'étuve pendant 15 minutes et refroidissement pendant 30 minutes dans un dessiccateur et son poids a été noté P1. La farine (5g) a été déposée dans la nacelle à l'aide d'une spatule, puis l'ensemble a été pesé et noté P2.

Enfin, la nacelle a été introduite dans une étuve de marque MAMMERT préalablement réglée à 105°C pendant 2h, puis refroidie dans un dessiccateur pendant 30 minutes avant de peser l'ensemble (P3) (**JORA n°08, 2013**).

**❖ Expression des résultats**

Le résultat est exprimé comme suit:

$$H\% = \frac{P2-P3}{P2-P1} \times 100$$

Où : P1 : Masse de la nacelle vide en gramme (g).

P2 : Masse de la nacelle avec l'échantillon avant séchage (g).

P : Masse de la nacelle avec l'échantillon après séchage (g).

H : Humidité (%).

**4- Taux de cendres**

Le taux de cendres permet d'évaluer la quantité de minéraux inorganiques présents dans la farine, après incinération à une température de 900°C jusqu'à combustion complète de la matière organique. La teneur en cendres est déterminée par pesée de résidus (**JORA n° 08, 2013**).

**❖ Mode opératoire :**

Le poids d'une nacelle vide a été déterminé à l'aide d'une balance analytique de marque Sartorius MC 210 et noté P1, puis 4g de farine y ont été introduites. L'ensemble a été pesé et noté P2. Pour accélérer l'incinération, quelques gouttes d'alcool (éthanol) ont été ajoutées à l'aide d'une pipette avant de l'introduire l'ensemble dans un four à moufle de marque HERAEUSM 110 préalablement réglé à 900°C. Une fois l'incinération est achevée, la nacelle a été refroidie dans un dessiccateur, puis pesée et noté P3 (**JORA n°08,2013**).

❖ **Expression des résultats :**

Le résultat est exprimé comme suit :

$$\text{Taux de cendres (MS)} = \frac{P3-P1}{P2-P1} \times 100 \times \frac{100}{100 - \%H}$$

Où : P1 : Masse de la nacelle vide en gramme (g).

P2 : Masse de la nacelle avec l'échantillon avant incinération (g).

P3 : Masse de la nacelle avec l'échantillon après séchage (g).

MS : Matière sèche.

## 5- Teneur en glucides totaux

La détermination de la teneur en glucides permet d'évaluer la valeur nutritionnelle et l'apport énergétique des aliments préparés à partir de cette farine, d'autre part la teneur en glucides joue un rôle essentiel dans le développement de la texture et de la structure des produits. La quantité de sucres a été déterminée par la méthode de dosage à l'antrone.

❖ **Mode opératoire :**

- **Préparation de la solution d'antrone:** 0,1g d'antrone a été dissoute dans 100ml d'acide sulfurique concentré.

- **Extraction des sucres :** les sucres ont été extraits à partir de 100 mg de farine grâce à 10ml d'éthanol (70%) et une agitation au vortex pendant 3 minutes suivi d'une incubation dans un bain-marie à 80°C pendant 10 minutes.

- **Dosage des sucres :** les sucres ont d'abord été récupérés par centrifugation à 3000 rpm pendant 5 minutes ; 0,5 ml d'extrait d'une dilution adéquate ont prélevés et versés dans un tube à essai aux quels est ajouté 1ml du réactif d'antrone. Le tube a été fermé avec un bouchon et soumis à une agitation au vortex pendant 3 minutes. Le mélange a été incubé au bain-marie à 100°C pendant 10 minutes. Après refroidissement des tubes, l'absorbance au spectrophotomètre a été réalisée à 625nm.

❖ **Expression des résultats :**

Les résultats sont obtenus en se référant à la courbe d'étalonnage réalisée avec le D-glucose, ils sont exprimés en gramme équivalent de glucose par 100g de farine.

## 6- Teneur en matière grasse

La teneur en matière grasse a été réalisée par la méthode d'extraction au SOXHLET en utilisant l'hexane comme solvant selon la Norme Internationale ISO 659 (2009).

### ❖ Mode opératoire :

Après avoir pesé le ballon vide (P1), 10 g d'échantillon broyé ont été pesés dans une cartouche. L'ensemble est ensuite placé dans le Soxhlet. Puis, 180 ml d'hexane ont été ajoutés et chauffés dans le ballon à 60-70°C pendant 4h.

Les traces de solvant ont été éliminées par évaporation à l'étuve ventilée pendant 24h, puis les creusets refroidis au dessiccateur, le ballon contenant la matière grasse est pesé (P2).

### ❖ Expression des résultats :

La teneur en matières grasses est exprimée en pourcentage selon la relation :

$$MG (\%) = (P2 - P1) / ME \times 100$$

P1 : Poids du ballon vide (g).

P2 : Poids du ballon après évaporation (g).

ME : Masse de la prise d'essai (g).

MG : Taux de la matière grasse (%).

## 7- Acidité grasse

La mesure de l'acidité grasse repose sur un dosage colorimétrique. Les acides gras libres sont mis en solution dans l'éthanol à 95% (JORA n° 08, 2013).

### ❖ Mode opératoire :

Une quantité de farine (5g) a été introduite dans un tube à laquelle ont été additionnés 30ml d'éthanol à 95%. Le tube a été fermé hermétiquement et soumis à une agitation pendant 1h. Après 2 centrifugations successives, 2 min chacune à une vitesse de 6000tour/min, 10ml du liquide surnageant parfaitement limpide ont été prélevés à l'aide d'une pipette et versés dans une fiole conique auxquels 5 gouttes de phénolphthaléine ont été ajoutées. La titration a été réalisée avec la solution d'hydroxyde de sodium à 0,05N, jusqu'au virage rose pâle.

❖ **Expression des résultats :**

L'acidité est exprimée en gramme d'acide sulfurique pour 100g de matière sèche est calculée par la formule suivante :

$$AG\% = (N \times V1 / m \times V0) \times 100$$

V1 : Volume de NaOH (ml) de l'échantillon.

V0 : Volume de surnageant.

m : masse en gramme.

N : Normalité de la solution d'hydroxyde de sodium (0,05 N).

## 8- Capacité d'absorption de l'eau et de l'huile

La capacité d'absorption de l'eau et de l'huile est un paramètre important pour évaluer les propriétés fonctionnelles et la qualité d'une farine (Yapi, 2013).

❖ **Mode opératoire :**

Pour la capacité d'absorption de l'eau, 1g de farine est introduit dans un tube à centrifugeuse et pesé (M1), ensuite 10 ml d'eau ont été ajoutés au tube et l'ensemble a été agité pendant 30 minutes.

Une centrifugation à 5000 tr/min pendant 25 minutes a été effectuée, et le surnageant a été écarté et la nouvelle masse est notée (M2).

Pour la capacité d'absorption de l'huile le même protocole a été suivi avec une quantité de 0,5g de farine et 6ml de l'huile de tournesol.

❖ **Expression des résultats :**

- La capacité d'absorption de l'eau est donnée par la formule :

$$CAE = (M2-M1) - PE/PE$$

- La capacité d'absorption de l'huile est donnée par la formule :

$$CAH = (M2-M1) - PE/PE$$

M1 : Masse du tube à centrifuge.

M2 : Masse du tube contenant la farine après centrifugation.

PE : Prise d'essai.

## 9- Dosage des Composés phénoliques

La détermination de la teneur en composés phénoliques dans une farine permet d'évaluer sa valeur nutritionnelle et sa contribution aux apports en antioxydants (**Haddoudi et al., 2014**).

### ❖ Mode opératoire :

Peser 5g de farine dans un bêcher, ajouter 80ml d'acétone à 80% ensuite laisser macérer. Les composés phénoliques de la farine de pois chiches ont été extraits en mélangeant 5g de celle-ci avec 80ml d'acétone à 80% et laissé macéré pendant 1 heure. Le mélange est ensuite centrifugé à 5000tour/min pendant 15 minutes. Le surnageant a été récupéré et séché à 37°C dans une étuve ventilée. Après 24h de séchage, l'extrait phénolique a été reconstitué dans de l'éthanol aqueux.

A l'aide d'une pipette 200µl d'extrait ont été prélevés aux quels ont été ajoutés 1ml du réactif de Folin dilué 10 fois et 0,8ml de carbonate de sodium (7,5%). L'ensemble a été incubé à l'abri de la lumière pendant 30 minutes et l'absorbance a été mesurée à 765nm.

### ❖ Expression des résultats :

La concentration en composés phénoliques de l'extrait est déterminée en se référant à la courbe d'étalonnage obtenue en utilisant l'acide gallique préparé dans les mêmes conditions. Les résultats sont exprimés en mg équivalent d'acide gallique/g d'extrait sec.

## 10- Dosage des flavonoïdes

La méthode du trichlorure d'aluminium (**Bahorun et al., 1996**) est utilisée pour la quantification des flavonoïdes. Ce réactif entraîne la formation de complexes acido-résistants, entre les hydroxyles et les fonctions cétones voisines et des complexes acido-labiles, avec les groupes O-dihydroxyles. Ces derniers présentent un maximum d'absorption, 430 nm, dont l'intensité est proportionnelle à la quantité de flavonoïdes recelée par l'échantillon.

### ❖ Mode opératoire :

La teneur en flavonoïdes des échantillons est déterminée en mélangeant 1ml de l'extrait et 1 ml de solution de chlorure d'AlCl<sub>3</sub> (2%). Après 10 minutes de réaction, l'absorbance est lue à 430nm.

### ❖ Expression des résultats :

Les concentrations des flavonoïdes sont déduites à partir de la gamme d'étalonnage établie avec la quercétine, leur lecture est exprimée en milligramme équivalent de quercétine par milligramme d'extrait sec (mg EQ/mg ES).

### III- Analyses microbiologiques

En vue de l'examen microbiologique, la préparation de la suspension mère et des dilutions décimales sont réalisées dans le but de réduire le nombre de micro-organismes par unité de volume.

#### ❖ Mode opératoire :

Une série de tube étiqueter de  $10^{-1}$  à  $10^{-3}$  pour chaque échantillon a été préparée et répartie aseptiquement à l'aide d'une pipette pasteur. La suspension mère de 1ml a été déposée dans un tube stérile contenant au préalable 9ml de diluant (eau physiologique), cette dilution constitue alors la dilution de 1/10 ou  $10^{-1}$ . Ensuite 1ml de celle-ci a été prélevé à l'aide d'une autre pipette stérile et porté dans un autre tube d'eau physiologique de 9ml pour avoir la dilution au 1/100 ou  $10^{-2}$  et ainsi de suite jusqu'à la dilution  $10^{-3}$ . Chaque dilution a été homogénéisée, en ayant prendre soin de changer la pipette entre chaque dilution afin d'éviter de fausser les résultats (**JORA N°70 du 7 novembre 2004**).

#### III-1- Recherche et dénombrement des moisissures

Les levures et les moisissures sont des microorganismes aérobies, en générale acidophiles, mésophiles et souvent osmophiles, c'est-à-dire capables de se développer sur des milieux à faible activité d'eau. Leur présence est assez important dans l'ensemble des prélèvements d'air et de produit déshydratés (**ISO, 2008a**).

#### ❖ Mode opératoire :

A partir des dilutions décimales allant de  $10^{-1}$  à  $10^{-3}$ , 1 ml a été déposé aseptiquement dans des boîtes de Pétri vide, préparées à cet usage et numérotées. Celui-ci a été ensuite complété avec 12 à 15 ml de gélose OGA fondue puis refroidie à  $45\text{ }^{\circ}\text{C}\pm 1$ . Afin de permettre à l'inoculum de se mélanger à la gélose utilisée, des mouvements circulaires et de va-et-vient en forme de (8) ont été réalisés. Les boîtes ont été finalement incubées à  $25^{\circ}\text{C}$  pendant 72h.

#### ❖ Expression des résultats :

Le dénombrement consiste à compter toutes les colonies ayant poussé sur les boîtes en tenant compte des facteurs suivants :

- Ne dénombrer que les boîtes contenant entre 15 et 150 colonies.
- Faire ensuite la moyenne arithmétique des colonies entre les différentes dilutions.
- Multiplier le nombre trouvé par l'inverse de sa dilution.

### III-2- Recherche et dénombrement des coliformes thermotolérants

Les coliformes sont des bacilles à Gram négatifs, aérobies ou aéro-anaérobies facultatifs et thermotolérants, capables de se multiplier en présence de sels biliaires et de fermenter le lactose avec production d'acide et de gaz, généralement le type le plus recherché sont les coliformes fécaux (*E.coli*) (ISO, 2009).

L'intérêt de la recherche et le dénombrement des coliformes fécaux (*E.coli*) est de déterminer si le produit testé contient une contamination fécale (Joffin et Joffin, 1985).

#### ❖ Mode opératoire :

A partir des dilutions décimales de  $10^{-1}$  à  $10^{-3}$ , une série de deux tubes de milieu BCPL ont été ensemencés à raison de 1 ml chacun. Les tubes ont été en suite incubés pendant 24 à 48h à 44°C.

#### ❖ Expression des résultats :

Les résultats sont considérés comme positifs si il y'a eu un dégagement de gaz, un trouble bactérien accompagné d'un virage de la couleur du milieu vers le jaune.

### III-3- Recherche et dénombrement de *Staphylococcus aureus*

Les *Staphylococcus aureus* sont des Cocci à Gram positif, non sporulés, aéro-anaérobies facultatifs, halophiles (Bourgeois et al., 1996). Leur recherche permet de savoir si le produit présente des risques pour le consommateur car ils produisent une entérotoxine protéique causant l'intoxication alimentaire (Guiraud, 1998).

#### ❖ Mode opératoire :

A partir des dilutions décimales de  $10^{-1}$  à  $10^{-3}$ , 1 ml a été déposé aseptiquement sur la gélose Chapman préalablement fondue et coulée dans les boîtes de pétri bien séchée. Les boîtes de Chapman ensemencées ont été incubées à leur tour à 37°C pendant 24 à 48 h.

#### ❖ Expression des résultats :

Repérer et quantifier que les boîtes contenant entre 15 et 150 colonies suspectes, à savoir les colonies de taille moyenne, lisse, brillantes, pigmentés en jaune et ayant un halo jaune.

## IV- Préparation du biscuit

Pour l'élaboration du biscuit, différents ingrédients ont été achetés du marché local à savoir la levure chimique et la vanille sans gluten de la marque EL MOURDJENE, des œufs, de l'huile de tournesol et du sucre de la marque Cevital et du zeste de citron ont été mélangés

à la farine de pois chiche. Après plusieurs essais infructueux, nous avons réussi à fixer la quantité des différents ingrédients.

Le tableau suivant montre la quantité des ingrédients utilisés dans la recette.

Tableau XI : la quantité d'ingrédients utilisée pour la réalisation de la recette.

Ingrédients	Quantité utilisé
Farine de pois chiche	75g
Levure chimique (EL MOURDJENE)	4g
Vanille (EL MOURDJENE)	5g
Œufs	2 œufs
Huile végétale (Cevital)	50ml
Sucre (Cevital)	40g
Zeste du Citron	6g

#### IV-1-Méthode d'élaboration

Deux œufs sont battus dans un récipient à l'aide d'un batteur électrique pendant 3 minutes, puis le sucre est ajouté en mélangeant continuellement jusqu'à dissolution de ce dernier. Ensuite 50ml d'huile sont versés suivi du zeste de citron et la vanille qui servent d'arômes. Le tout est mélangé pendant 2 minutes. A la fin, la farine de pois chiches (75g) ainsi que 4g de levure chimique sont ajoutés et mélangés à l'aide d'un batteur pendant 10 minutes jusqu'à l'obtention d'une pâte liquide.

Environ 35g de la pâte sont versés dans un moule à madeleine est placé ensuite dans un four ventilé préalablement réglé à une température de 200°C pendant 10 minutes.

La figure 7 montre les madeleines obtenues après la cuisson.



Figure 7 : Le biscuit (Madeleine) élaboré à base de la farine de pois chiche.

## IV-2- Analyse sensorielle

L'analyse sensorielle est un examen qui consiste à déterminer les propriétés organoleptiques d'un produit par les organes des sens. De part ces cinq sens, l'être humain est devenu l'instrument de mesure des méthodes d'analyse sensorielle pour caractériser et évaluer des produits alimentaires (Thomas, 2016).

### ❖ Mode opératoire :

Le test de dégustation a été réalisé au niveau de laboratoire de l'analyse sensorielle de l'université de Bejaïa, deux échantillons de biscuits madeleine ont été présentés à un groupe de dégustateurs composé de 120 personnes. Le premier échantillon étant codé (Ab) élaboré à base de la farine de blé, le deuxième échantillon étant codé (Bp) est élaboré à base de la farine de pois chiche.

Il a été demandé aux dégustateurs de remplir un questionnaire préalablement préparé, d'où plusieurs caractéristiques organoleptiques ont été analysées à savoir, l'apparence (aspect visuel et la couleur), la texture, le goût (l'intensité du goût sucré et l'arrière goût), et à la fin une note d'appréciation générale a été donnée.

### ❖ Expression des résultats :

Les résultats sont illustrés sur un histogramme déterminant le pourcentage de l'appréciation des dégustateurs des deux biscuits Ab et Bp.

# **Résultats et discussion**

### I-1- Poids de mille grains

Le poids de mille grains (PMG) est un paramètre à déterminer afin d'accroître la précision et la fiabilité de l'identification des variétés de blé et d'autres légumineuses (**Luy et al., 2013**).

Les résultats trouvés pour la variété du pois chiche utilisé pour l'élaboration de la farine montrent que le poids de mille grains est égal à 430g.

Frimpong et al. (2009), ont évalué le poids de mille grains pour deux différentes variétés de pois chiche, dont leurs résultats montrent un PMG égal à 449g pour la variété *Kabuli* et un PMG de 288g pour la variété de *Desi*. Par ailleurs, Baloch et al. (2010) ont donné un PMG de l'ordre de 193.7g pour la variété *Desi*. Les résultats de l'étude menée par Wang et al. (2017) ont révélée un PMG de 472g pour la variété *Kabuli*.

En général, le poids moyen de 1000 grains de la variété *Kabuli* est supérieur à celui de la variété *Desi*, cela indique que le type de pois chiche utilisé pour l'élaboration de notre farine est de la variété *Kabuli*.

### I-2- Granulométrie

La détermination de la distribution granulométrique des farines permet d'avoir une idée sur la finesse des particules sachant que celle-ci joue un rôle important sur la vitesse d'hydratation et la quantité d'eau et d'huile absorbée (**Colas et al., 1997**).

Le tableau XII présente la répartition des fractions granulométriques constituant la farine de pois chiche utilisée dans la formulation du biscuit.

Tableau XII : Répartition des fractions granulométriques de la farine de pois chiche.

Diamètre du tamis ( $\mu\text{m}$ )	Pourcentage retenu (%)
905	2,33
450	9,40
355	19,25
280	31,01
155	25,43
125	6,12

Selon les résultats obtenus, 62,56% de la farine de pois chiche est constitué principalement des particules de diamètre inférieur à 280 $\mu\text{m}$  et de 31,55% des particules de diamètre inférieur à 155  $\mu\text{m}$ .

Selon Amrouche (2012). On considère généralement que la limite entre semoule et farine se situe à 160  $\mu\text{m}$ . Une bonne farine devra avoir une dimension la plus réduite possible. Ladjal et Chibane. (2015) ont signalé une distribution inférieure à 160  $\mu\text{m}$  pour 70% de la farine de pois chiche, tandis que les résultats trouvés par Aguilar-Raymundo et Vélez-Ruiz. (2016) montrent que 50% des particules ont une dimension inférieure à 257 $\mu\text{m}$ .

Flores-Farias et al. (2002) ont indiqué que certains facteurs comme la dureté de la graine, la vitesse des moulins, la teneur en humidité et le degré de tamisage affectent la taille des particules de la farine.

### I-3- Teneur en humidité, sucres totaux, matière grasse, taux de cendres et acidité grasse

Les résultats des analyses réalisées sur la teneur en humidité, en cendres, en sucres totaux et en lipides sont récapitulés dans le tableau XIII :

Tableau XIII : résultats des analyses réalisées sur la farine de pois chiche et de blé.

Analyses	Farine de pois chiche	Farine de blé (Agro-div)
Teneur en humidité (%)	10,39± 0,091	14,87±0,312
Taux de cendres (%)	2,99±0,213	0,57±0,02
Teneur en sucres totaux (%)	36±0,342	33±0,354
Teneur en Matière grasse (%)	4,14	0,6
Acidité grasse (%)	0,25±0,036	0,05±0,015

#### ➤ Humidité

La détermination de la teneur en eau des farines est importante pour une bonne conservation, où il est nécessaire de l'abaisser jusqu'à 14%, 12% voir 7% selon leurs utilisation (**Colas, 1998**), elle est aussi utilisée pour l'expression des autres déterminations analytiques (Cendres, acidité, protéines...) (**Bradly, 1998**).

La teneur en eau de notre farine est de 10,39%, elle est nettement inférieure à celle fixé par le codex alimentaire (**FAO, 1996**) qui est de 14% pour la farine de pois chiche. Cependant, les résultats des études menées par Boucheham (2009) et Rebzani et al. (2020) ont

donné des valeurs de teneur en eau de 11,68% et 10,86% respectivement, ce qui est proche de nos résultats.

La farine de blé commercialisée a enregistré un taux d'humidité élevé par rapport à la farine de pois chiche qui est de 14,87%.

### ➤ **Taux de cendres**

Le taux de cendres pour notre farine est de 2,99%, un résultat légèrement supérieur à ceux déterminés par Kaur et al. (2005) qui est de 2,72%, et par Boye et al. (2010) qui est de 2,76% ainsi que par Du et al. (2014) qui est de 2,45% pour la farine de pois chiche.

En comparant à la farine de blé témoin commercialisée de la marque Agro-div, on constate que son taux de cendres est de 0,57% ce qui est conforme aux normes, mais qui est largement inférieure au taux de notre farine de pois chiche. Cela indique une plus grande richesse en minéraux de farine de pois chiche.

### ➤ **Glucides totaux**

Les résultats ont révélé que la farine de pois chiche contient 36 g de glucides totaux par 100 g de farine. L'étude de Hawkins et al. (2009) a révélé une teneur en glucides totaux de 38,9g/100g pour la farine de pois chiche. On observe que les deux valeurs sont relativement proches, ce qui indique une cohérence entre ces deux études.

Cependant, les études de Berrios et al. (2010) et Parrimalavalli et al. (2014) ont rapporté des résultats de 64,46g/100g et 59,66g/100g de glucides respectivement. Ces valeurs sont significativement plus élevées que les autres résultats mentionnés précédemment.

En comparant nos résultats à la farine de blé de la marque Agro-div, on constate que la teneur en glucides totaux de la farine de pois chiche est légèrement plus élevée par rapport à celle de la farine du blé témoin qui est de 33,3g/100g.

En analysant les résultats des différentes études, nous constatons des variations dans les quantités de glucides totaux trouvées dans la farine de pois chiche ce qui peut être dû à plusieurs facteurs tels que l'utilisation d'une autre variété de pois chiches, les conditions climatiques de culture et les différentes méthodes de mesure utilisées dans chaque étude (Anurdha et al., 2009, Indrakumar et al., 2009).

### ➤ **Teneur en matière grasse**

La farine de pois chiche utilisée dans ce travail présente une teneur en lipides de 4,19%, une teneur proche de celle rapportée par Sreerama et al. (2011) et Aguilar-Raymundo

et al. (2016) qui est de 4,8% et 4,04% respectivement. Cependant, cette teneur est inférieure à celle rapportée par Schakel et al. (2004) qui est de 6.68% et celle rapportée par Gadallah et al. (2017) qui est de 6,20%.

La farine de blé dur a donné une faible teneur en lipides par rapport à la farine de pois chiche qui est de 0,6%.

Cette propriété importante permet à la farine de pois chiche d'être largement utilisée dans les produits alimentaires grâce à sa richesse en matière grasse (**Sreerama et al., 2008**).

### ➤ Acidité grasse

L'étude de l'acidité renseigne sur le nombre de chaînes d'acides gras libres présents dans un produit alimentaire, ces chaînes d'acides gras libres sont responsables des mauvaises odeurs des produits alimentaires et causent une rancidité ce qui peut limiter la durée de conservation des produits (**Cillard et al., 2006**).

Notre farine de pois chiche a enregistré une acidité de 0,25%, en comparant à la littérature ce résultat est supérieur à celui trouvé par Sidibe (2017) qui a déterminé l'acidité d'une farine de légumineuses mélangé de arachides et de riz où il a enregistré une acidité de 0,14%.

Par ailleurs, ce résultat est aussi supérieur à la norme maximale de l'acidité grasse fixée par le ministère de l'agriculture algérienne (2009) pour la farine de blé qui est de 0,06%.

Pour la farine de blé commercialisée de la marque Agro-div, l'acidité grasse est de 0,05% qui est inférieure aux normes maximales.

Cette acidité moyennement élevée peut être expliquée par la richesse du pois chiche en matière grasse (**FAO, 2016**), ajoutant à cela le pois chiche est considéré parmi les légumineuses d'origine acidifiants (**Lepape-info, 2015**).

## I-4- Capacité d'absorption de l'eau et de l'huile

Les résultats de la capacité d'absorption de l'eau et de l'huile sont recensés dans le tableau XIV :

Tableau XIV : Les résultats de la capacité d'absorption de l'eau et de l'huile.

Analyse	Farine de pois chiche	Farine de blé (Agro-div)
Capacité d'absorption d'eau (ml/100 g)	154	41
Capacité d'absorption de l'huile (ml/100g)	56	36

La capacité d'absorption d'eau et de l'huile des farines joue un rôle important dans le processus de préparation d'un produit alimentaire, car elle influence les caractéristiques fonctionnelles et sensorielles, leur mesure donne une idée sur la quantité d'eau et de l'huile nécessaire pour former une pâte homogène (Sreemara et al., 2012).

Notre farine de pois chiche présente une capacité d'absorption d'eau de 154 ml/100 g, ce résultat est supérieur à celui trouvé par Ghavidel et al. (2006) qui est de 136,2 ml/100 g et celui de Sreemara et al. (2012) qui est de 131,6 ml/100 g.

D'autre part, l'étude de Solnake et al. (2021) a donné un résultat supérieur qui est de 221 ml/100g de farine.

Par ailleurs, la farine de blé commercialisée présente une très faible absorption d'eau en la comparant à la farine de pois chiche qui est de 41 ml/ 100g.

Cette forte capacité d'absorption de l'eau de la farine de pois chiche est expliquée par sa richesse en protéines. Il est connu que les résidus d'acides aminés polaires des protéines ont une grande affinité pour les molécules d'eau, ainsi que la composition en hydrates de carbone (glucides) et la granulométrie des farines peuvent être des facteurs influençant la capacité d'absorption d'eau (Sreemara et al., 2012 ; Solnake et al., 2021).

Une forte capacité d'absorption de l'eau indique qu'il faut ajouter plus d'eau à la pâte, pour améliorer les caractéristiques de manipulation et maintenir la fraîcheur des produits (Sreemara et al., 2012).

Pour la capacité d'absorption de l'huile nous avons constaté que notre farine absorbe 56 ml/100g, un résultat qui est largement inférieur à celui donné par Sreemara et al. (2012) qui est de 109 ml/100 g et celui de Yixiang et al. (2013) qui est de 107 ml/100 g. Une autre étude menée par Solnake et al. (2021) a rapporté une capacité d'absorption de l'huile proche de nos résultats qui est de 67 ml/100g.

La farine de blé analysé à indiqué également une très faible capacité d'absorption de l'huile par rapport à la farine de pois chiche qui est de 36 ml/100 g.

Généralement la capacité d'absorption d'huile des farines de légumineuses est en corrélation négative avec la capacité d'absorption d'eau (Sreemara et al., 2012), en pâtisserie il est préférable d'utiliser des farines à forte capacité d'absorption de l'huile, car la graisse agit comme un conservateur d'arôme, et comme un améliorant de la consistance et de la sensation en bouche des produits (Khatab et al., 2009).

### I-5- Teneur en composés phénoliques et en flavonoïdes

Tableau XV : Résultats de la teneur en composés phénoliques et en flavonoïdes.

Analyse	Farine de pois chiche	Farine de blé
Composés phénoliques mg (EAG/g ES)	0,58±0,035	0,28±0,055
Teneur flavonoïdes mg (EQ/g ES)	0,13±0,036	0,06±0,025

La teneur en composés phénoliques totaux des farines donne une vision sur le potentiel antioxydant de ces dernières (Zia-Ul-haq et al., 2008).

L'étude de notre farine de pois chiche a révélé une teneur en composés phénoliques de 0,58 mg équivalent d'acide gallique par g d'extrait sec, ce qui est inférieur à l'étude de Zia-Ul-haq et al. (2008) ont signalé une teneur en composés phénoliques de 1,12 mg équivalent d'acide gallique par g d'extrait sec.

Par ailleurs, Marathe et al. (2011) ont rapporté un résultat de 1,36 mg équivalent d'acide gallique/g d'extrait sec ce qui est supérieur en comparant à nos résultats.

L'étude de la farine de blé commercialisée de la marque Agro-div a signalé une faible teneur en composés phénoliques qui est de 0,28 mg équivalent d'acide gallique par gramme.

Parmi les composés phénoliques, les flavonoïdes sont le groupe le plus important chez les végétaux, ces flavonoïdes sont connus pour leurs propriétés antioxydants, anti-cancéreuses, antiallergiques et anti-inflammatoires (Kanatt et al., 2011).

La farine de pois chiche étudiée a enregistré une teneur de 0,13 mg équivalent de quercitine par gramme d'extrait sec qui est similaire à la teneur enregistrée par Ladjal et al.

(2015) qui est de 0,12 mg EQ/g d'extrait sec. En revanche, l'étude de Zia-Ul-haq et al. (2008) a signalé une teneur plus élevée en flavonoïdes qui est de 0,79 mg EQ par g d'extrait sec.

Tandis que la farine de blé de la marque agro-div a signalé une teneur de 0,06 mg EQ/g d'extrait sec qui est faible en le comparant à la farine de pois chiche.

Cette variation de la teneur en composés phénoliques et en flavonoïdes est dû à des facteurs génétiques, aux conditions environnementales et au degré de maturité des échantillons étudiés (Marathe et al., 2011; Oomah et al., 2011).

### **I-6- Résultats des analyses microbiologiques**

Les organismes internationaux (OMS, FAO...) insistent sur le respect des règles d'hygiène et de sécurité, seul garant de la santé du consommateur. Par conséquent, le contrôle de la qualité microbiologique est nécessaire.

#### **I-6-1- Moisissures**

Les levures et les moisissures sont les microorganismes les plus fréquemment rencontrés dans les aliments, leur présence est assez importante dans les produits déshydratés tels que les farines (Molinité et al., 2003).

L'examen microbiologique de la farine de pois chiche utilisée dans ce travail, a dévoilé la présence de  $8.10^3$  UFC/100g de farine. Des observations analogues ont été signalées dans les travaux d'Ennadir et al. (2012) qui ont rapporté la présence de  $9.10^3$  colonies de moisissures dans 100g de farine. D'autre part l'étude d'Aydin et ses collaborateurs sur la farine de maïs ont enregistré la présence de  $8,74.10^2$  UFC/100g de farine (Aydin et al., 2009). Cependant, ces résultats restent inférieurs aux normes établies dans le journal officiel de la république algérienne (2017) qui est entre  $10^3$  à  $10^4$  colonies de moisissures/100g de farine.

L'analyse de la farine de blé commercialisée de la marque Agro-div a indiqué la présence de  $5.10^3$  UFC/100g de farine.

En effet, les moisissures constituent des facteurs de bio-détérioration des céréales affectant la qualité technologique des matières premières et la qualité sanitaire par formation

de mycotoxines et de spores allergéniques (Olsson, 2000). L'activité fongique mène également aux modifications rhéologiques des pâtes (Molinité et Pfohl-Leszkowicz 2003). La présence de ces moisissures peut être attribuée à la durée de stockage, le lieu de stockage et à l'origine des graines (Ennadir et al., 2012).

### I-6-2- Coliformes thermotolérants

La recherche des coliformes fécaux (*E. coli*) a donné des résultats négatifs pour les deux farines (pois chiche et blé), ce qui indique l'absence d'une contamination fécale et des bactéries pathogènes (Alp et al., 2006).

### I-6-3- *Staphylococcus aureus*

De même pour la recherche des *Staphylococcus aureus* qui sont des microorganismes d'intérêt sanitaire, des résultats négatifs ont été enregistrés pour la farine de pois chiche ainsi que pour la farine de blé.

Ceci indique l'absence de tout risque sanitaire pour le consommateur (Alp et al., 2006).

### I-7- Résultats de l'analyse sensorielle :

Les résultats de l'analyse sensorielle sont illustrés dans la figure 8.

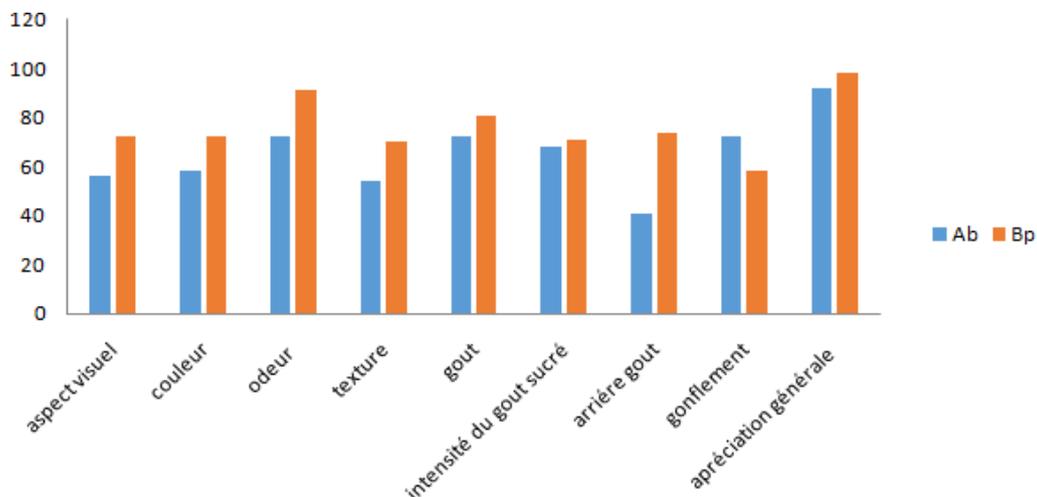


Figure 8 : Histogramme déterminant les résultats de l'analyse sensorielle et le pourcentage de l'appréciation des dégustateurs des deux biscuits Ab et Bp.

Les résultats enregistrés montrent que 65 personnes trouvent l'aspect visuel de l'échantillon (Ab) à base de la farine de blé est attirant contre 72 personnes qui trouvent que l'échantillon (Bp) à base de la farine de pois chiche est attirant.

Pour la couleur les résultats montrent que 58 personnes trouvent que la couleur de l'échantillon (Ab) est jaune dorée et 72 personnes ont indiqué que la couleur de l'échantillon (Bp) est jaune dorée qui est la couleur généralement la plus souhaitable pour les biscuits à pâte molle.

L'odeur des deux biscuits a été agréable pour les deux échantillons, 72 personnes ont indiqué que l'odeur de l'échantillon (Ab) est agréable et 91 personnes ont indiqué que l'odeur de l'échantillon (Bp) est agréable.

Pour la texture, les résultats montrent que l'échantillon (Bp) à base de la farine de pois chiche est plus molle en comparant à l'échantillon (Ab) à base de la farine de blé, on retrouve 70 personnes qui ont indiqué que l'échantillon (Bp) est bien mou contre 54 personnes qui ont indiqué que l'échantillon (Ab) est bien mou, pour ce type de biscuits la texture molle est la plus appréciée chez les consommateurs.

En ce qui concerne le goût, les deux échantillons ont un goût agréable, 72 personnes ont indiqué que l'échantillon (Ab) présente un goût agréable et 81 personnes ont indiqué que l'échantillon (Bp) présente un goût agréable. Par contre pour l'intensité du goût sucré, on remarque que 71 personnes ont indiqué que l'échantillon (Bp) est juste bien sucré et 33 personnes ont indiqué que l'échantillon (Bp) n'est pas du tout sucré, pour l'échantillon (Ab), 68 personnes ont indiqué qu'il est juste bien sucré.

L'analyse de l'arrière-goût a montré que 41 personnes ont indiqué la présence d'un arrière-goût dans l'échantillon (Ab) contre 74 personnes qui ont indiqué la présence d'un arrière-goût dans l'échantillon (Bp).

L'analyse du gonflement a montré que l'échantillon (Ab) est assez bien gonflé en le comparant à l'échantillon (Bp). 72 personnes ont indiqué que l'échantillon (Ab) est assez bien gonflé contre 58 personnes qui ont indiqué que l'échantillon (Bp) est assez bien gonflé.

En ce qui concerne l'appréciation générale, les deux échantillons sont bien appréciés par les dégustateurs, mais on retrouve que l'échantillon (Bp) à base de la farine de pois chiche est plus apprécié d'où 98 personnes ont donné une note générale supérieure à 7 sur 9 pour

l'échantillon (Bp) et 92 personnes ont donné une note générale supérieure à 7 sur 9 pour l'échantillon (Ab).

En général, on peut conclure que le biscuit madeleine à base de la farine de pois chiche a montré des caractéristiques organoleptiques acceptables et il a été bien apprécié par l'ensemble des dégustateurs.

# Conclusion

L'objectif de ce travail est l'élaboration d'un produit alimentaire sans gluten à base de légumineuses produites localement afin de contribuer à la diversification de l'alimentation destinée aux malades cœliaques, en testant la faisabilité technologique de la farine de pois chiche en vue de la formulation d'un biscuit de type madeleines.

Le choix de la matière première revient d'une part à la richesse nutritionnelle du pois chiche en fibres, en lipides, en minéraux et surtout en protéines et d'autre part à leur disponibilité et à leur coût raisonnable.

La caractérisation physico-chimique de la farine de pois chiche utilisée comme matière première a montré un faible taux d'humidité (10,39%), ce qui permet de la conserver pour une longue durée. Le taux de cendres est de 2,99%, ce qui confirme sa richesse en minéraux. L'étude de la teneur en sucres et des lipides a indiqué que la farine de pois chiche contient 36g de glucides par 100g de farine et de 4,19% de matière grasse.

De plus, la capacité d'absorption de l'eau et de l'huile ont été déterminées afin de connaître la quantité maximale nécessaire à réhydrater et/ou à ajouter pour la farine. La teneur en antioxydants de la farine ôtée de son son a été évaluée en analysant sa teneur en composés phénoliques et en flavonoïdes, les résultats ont donné une teneur de 0,58 mg EAG/g ES pour les composés phénoliques et une teneur de 0,13 mg EQ/g ES pour les flavonoïdes.

Des analyses microbiologiques ont été effectuées pour s'assurer de l'absence de tout risque d'intoxication pour le consommateur, la recherche et le dénombrement des levures et des moisissures ont indiqué la présence des moisissures à des seuils inférieurs aux normes maximales tolérées, tandis que les coliformes thermotolérants et les *staphylococcus aureus* ont été absents.

La qualité organoleptique des biscuits est un facteur déterminant de leur acceptabilité par les consommateurs. L'analyse sensorielle a montré que ce dernier a pris une excellente couleur (70 %), une odeur très agréable (80 %), d'une forme attirante, une texture molle et un goût agréable.

Au final, on peut conclure que l'utilisation de la farine de pois chiche dans le domaine de la biscuiterie est technologiquement possible pour l'élaboration des produits locaux pour les malades cœliaques et réduire ainsi la dépendance vis-à-vis du marché extérieur.

Le présent travail comporte des limites notamment le manque d'analyses rhéologiques et certaines analyses chimiques et microbiologiques sur le produit fini. Ceci est lié à la disponibilité du matériel de laboratoire destiné à ce type d'analyses.

Comme perspectives, ce travail mériterait d'être complété par :

- La détermination des autres caractéristiques physico-chimiques (teneur en amidon, en acides aminés, en protéines et en fibres).
- Étude du comportement rhéologique des madeleines élaborées.
- Étude de la possibilité de l'élaboration d'autres produits diététiques à base de farine de pois chiche tels que: Le pain, les pâtes alimentaires, le couscous, les gâteaux traditionnels etc.
- Le contact industriel en vue de l'industrialisation des produits sans gluten à base de la farine de pois chiche afin d'améliorer et de diversifier l'alimentation des malades cœliaques algériens.
- Faire une étude économique sur le coût du produit élaboré.

# **Références bibliographiques**

A

**Afshin A., Micha R., Khatibzadeh S., Mozaffarian D.** (2014). Consumption of nuts and legumes and risk of incident ischemic heart disease, stroke, and diabetes: a systematic review and meta-analysis. *The American journal of clinical nutrition*, 100(1), 278-288.

**Aguilar R., Vélez J.** (2016). Characterization of two chickpea varieties and the effect of cooking on their physico-chemical and functional properties of flours *Journal of food research* 5(5), 67- 76.

**Aguilar V., Vélez J.** (2016). Propiedades nutricionales y funcionales del garbanzo (*Cicerarietinum* L.). *Carbohidratos*, 7, 27–30.

**Alessio F., Carlo C.** (2001). Current approaches to diagnosis and treatment of celiac disease: An evolving spectrum, *Gastroenterology*, Volume 120, Issue 3, 2001, Pages 636-651, ISSN 0016-5085.

**Alp A., Vural A., Erkan M., Alp S.** (2006). The microbiological and physico-chemical quality properties of wheat samples, in Turkey. Dans *Proceedings II. National Veterinary Food Hygiene Congress*, Istanbul. p. 769–770.

**Anuradha R., Balamurugan P., Srimathi P., Sumathi S.** (2009). Influence of seed size on seed quality of chickpea (*Cicer arietinum* L.). *Legume Res*, 32:2.

**Arepally D., Sudharshan R., Goswami K., Ashis K.** (2020). Biscuit baking: A review, *Lwt*, Volume 131, 109726, ISSN 0023-6438.

**Aydin A., Paulsen P., Smulders F.** (2009). The physicochemical and microbiological properties of wheat flour in Thrace. *Turk. Journal of agriculture.*, 33 : 445–454.  
Doi:10.3906/tar-0901-20.

**Aykroyd W., Doughty Y.** (1982). Les graines de légumineuses dans l'alimentation humaine. 2<sup>ème</sup> édition N°20 FAO Rome. ISBN 978-92-5-201181-1 P 152

B

**Bahorun T., Gressier B., Trotin F., Brunet C., Dine T., Luyckx M., Pinkas M.** (1996). Oxygen species scavenging activity of phenolic extracts from hawthorn fresh plant organs and pharmaceutical preparations. *Arzneimittel-forschung*, 46(11), 1086-1089.

**Baloch M., Zubair M.** (2010). Effect of nipping on growth and yield of chickpea. *Journal of Animal and Plant Sciences*. 20. 208-210.

**Benatallah** (2009). Couscous et pain sans gluten pour malades cœliaques : Aptitude technologique de formules à base de riz et de légumes secs. Thèse de Doctorat, Option Sciences Alimentaires, Inattaa, Université Mentouri de Constantine, 173 p.

**Benkadri S.** (2010). Contribution à la diversification de l'alimentation pour enfants coeliaques : fabrication de farines-biscuits sans gluten. Mémoire de Magistère en Science alimentaire,

Institut de la nutrition de l'alimentation et des technologies agroalimentaires, Université Mentouri, Constantine, 125p.

**Berrios, Jose, Morales, Patricia, Cámara M., Sánchez M.** (2010). Carbohydrate composition of raw and extruded pulse flours. *Food Research International*. 43. 531-536. 10.1016/j.foodres.2009.09.035.

**Bichel A., Oelbermann M., Voroney. P., Echarte L.** (2016). Sequestration of native soil organic carbon and residue carbon in complex agroecosystems. *Carbon Management*, 7(5-6), 261-270.

**Boucheham** (2009). Aptitude technologique de trois formules à base de riz pour la fabrication de couscous sans gluten. Thèse de magister. Université Mentouri Constantine, Algérie. Inataa.76 p.

**Boudraa G., Bessahraoui M., Bouziane N., Niar S., Naceur M., Bouchetara A., Benmansour A., Touhami M.** (2008). Evolution de l'incidence de la maladie cœliaque chez l'enfant de l'ouest algérien (1975-2007). *SFP* 013: 949.

**Bourgeois, Claude M.** (1996). Microbiologie alimentaire. Tome 1. Aspect microbiologique de la sécurité et de la qualité des aliments. 2e édition. Paris Londres New York: Tec & doc-Lavoisier.

**Boye J., Aksay S., Roufik S., Ribéreau S., Mondor M., Farnworth E., Rajamohamed S.** (2010). Comparaison des propriétés fonctionnelles des concentrés de protéines de pois, de pois chiche et de lentille traités par des procédés de transformation des protéines de pois, de pois chiche et de lentille.

**Boye J., Zare F., Pletch A.** (2010). Pulse proteins: Processing, characterization, functional properties and applications in food and feed. *Food Research International*; 43: 414–431.

**Bradley J.** (1998). Moisture and Total Solids Analysis. In *Food Analysis*. Edition. nielsen S.S. 2<sup>nd</sup> Edition. Aspen Publishers. 119-140.

**Briani C., Samaroo D., Alaedini A.** (2008). Celiac disease: From gluten to autoimmunity. *Autoimmunity Reviews*, 7(8): 644–650.

---

### C

---

**Casas M., Palacios B., Crrascosa G., Bernad I., Bello A., Monzo M., Segovia G.** (2013). Evaluation of textural and sensory properties on the typical Spanish small Cakes designed using alternative flour. *Journal of culinary science and technologie*. 13(1) : 19-28.

**Cegarra M.** (2006). Le régime sans gluten : difficultés du suivi. *Archives de pédiatrie*, 13(06) : 572-578.

**Colas A., Tharrault J.** (1997). Granulométrie des particules. In *Guide pratique d'analyses dans les industries des céréales*. Edition godon b. & liosel W. Lavoisier. Tec et Doc. Paris : 42-49. 819 p.

---

### D

---

**Dagfinn A., Doris S., Chan M., Rosa L., Rui V., Darren C., Greenwood, Ellen K.** (2011). Teresa Norat, Dietary fiber, whole grains, and risk of colorectal cancer: systematic review and dose-responses analysis of prospective studies. *BMJ* 2011; 343 doi: 10.1136/bmj.d6617.

**Davidson I.** (2018). *Biscuit, Cookie and Cracker Production (Second Edition)*, Academic Press, 2019, Pages 165-172, ISBN 9780128155790.

**De Falco E., Imperato R., Landi G., Nicolais V., Piccinelli A., Rastrelli L.** (2010). « Nutritional characterization of *Cicer arietinum* L. cultivars with respect to Morphological and agronomic parameters. » *Emirates Journal of Food and Agriculture*, 22(5), 377.

**Deneri P., Sandra, Popineau Y.** (2001). Implication des protéines de céréales dans la maladie coeliaque.

**Du S., Jiang H., Yu X., Jane J.** (2014). Propriétés physicochimiques et fonctionnelles de la farine de légumineuses entières. *Food Science and Technology*, 55(1), 1-6.

---

E

---

**Ennadir J., Hassikou R., Ohmani F., Hammamouchi J., Bouazza F., Qasmaoui A., Khedid K.** (2012). Qualité microbiologique des farines de blé consommées au Maroc. *Canadian Journal of Microbiology*, 58(2), 145–150. Doi: 10.1139/w11-139.

---

F

---

**Fasano A., Catassi C.** (2008). Celiac disease. In *Gluten Free Cereal Products and Beverages*. Edited by: Arendt e.k. & Dal Bello F. Elsevier Academic Press, 1-22.

**Feillet P** (2000). *Les grains de blé, composition et utilisation*. INRA. Paris. 308p.

**Fellows P.** (2000). *Food Processing Technology – Principles and Practice*. 10.1201/NOE0849308871.

**Flores R., Martínez F., Salinas Y., Ríos E.** (2002). Characterization of Commercial Nixtamalized Maize Flours. *Agrociencia* 36557567.

**Foster K., Holt S., Brand J.** (2002). International table of glycemic index and glycemic load values: 2002. *American Journal of Clinical Nutrition*. 2002 Jul; 76(1):5-56. doi: 10.1093/ajcn/76.1.5. Pmid: 12081815.

**Frimpong A., Sinha A., Tarhan B., Warkentin T., Gossen B., Chibbar R.** (2009). Genotype and growing environment influence chickpea (*Cicer arietinum* L.) seed composition. *Journal of food science and agriculture.*, 89: 2052-2063.

---

G

---

**Gadallah M.** (2017). Rheological, Organoleptical and Quality Characteristics of Gluten-Free Rice Cakes Formulated with Sorghum and Germinated Chickpea Flours. *Food and Nutrition Sciences*. 8. 535-550. 10.4236/fns.2017.85037.

**Garnier H., Schmitz J., Lenglina** (2008). Diagnostic de la maladie coeliaque en 2008, *Archives de Pédiatrie*, Volume 15, Issue 4, Pages 456-461, ISSN 0929-693X.

**Ghavidel R., Prakash J.** (2006). Effect of germination and dehulling on functional properties of legume flours. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 86, 1189–1195.

**Grusak A.** (2005). Legumes, Editor(s): Benjamin Caballero, *Encyclopedia of Human Nutrition* (Second Edition), Elsevier, 2005, Pages 120-126, Isbn 9780122266942.

**Guiraud Z.** (1998). *Microbiologie alimentaire. Techniques d'analyse microbiologiques.* Edition du nord. ISBN 978-2-10-057008-9. P 670.

### H

**Ha V., Sievenpiper J., Souza R., Jayalath V., Mirrahimi A., Agarwal A., Jenkins D.** (2014). Effect of dietary pulse intake on established therapeutic lipid targets for cardiovascular risk reduction: a systematic review and meta-analysis of randomized controlled trials. 186(8),E252-E262.

**Haddoudi M., Mellouk H., Bejjany B., Dani A., Digua K.** (2014). Valorisation du marc du café : extraction de l'huile et évaluation de son activité antioxydante, les technologies de laboratoire, Volume 8, N°36.

**Hawkins A., Stuart K., Johnson** (2005). In vitro carbohydrate digestibility of whole-chickpea and chickpea bread products, *International Journal of Food Sciences and Nutrition*, 56:3, 147-155.

**Hirdyani H.** (2014). Nutritional composition of Chickpea (*Cicer arietinum*-L) and value added products -a review. *Indian J Comm Health.*; 26, Suppl S2:102-106.

### I

**Indrakumar, Singh N., Seema A., Chauhan J.** (2009). Effect of seed size on quality within seed lot of pea and correlation of standard germination, vigour with field emergence test. *Nature and Sci.*, 7(4): 1545-0740.

### J

**Joffin G.** (2001). *Microbiologie Technique 1. Dictionnaire des techniques.* Editions. CRDP d'Aquitaine : 320 p.

**Joshi P., Rao P.** (2017). Global pulses scenario: status and outlook. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 1392(1), 6-17.

### K

**Kanatt S., Arjun K., Sharma A.** (2011). Antioxidant and antimicrobial activity of legume hulls. *Food Research International* 44 (10): 3182–3187.

**Kaur M., Singh N.** (2005). Études sur les propriétés fonctionnelles, thermiques et de collage des farines de différents cultivars de pois chiches (*Cicer arietinum* L.). *Food Chemistry*, 91, 403-411.

**Kennedy C., Feighery** (2000). Clinical features of coeliac disease today, *Biomedicine & Pharmacotherapy*, Volume 54, Issue 7, 2000, Pages 373-380, ISSN 0753-3322.

**Khattab R., Arntfield S.** (2009). Functional properties of raw and processed canola meal. – Food Science and Technology, 42, 1119–1124.

**Kouris B., Belski R.** (2016). Health benefits of legumes and pulses with a focus on Australian sweet lupins. Asia Pacific journal of clinical nutrition, 25(1), 1-17.

**Kumar R., Sharma P., Gupta R., Kumar S., Sharma M., Singh S., Pradhan G.** (2020). Earthworms for eco-friendly resource efficient agriculture. Resources use efficiency in agriculture, 47-84.

**Kumar S., Meena R., Singh S., Munir T., Datta R., Danish S., Kumar S.** (2021). Soil microbial and nutrient dynamics under different sowings environment of Indian mustard (*Brassica juncea* L.) in rice based cropping system. Scientific Reports, 11(1), 1-11.

---

### L

---

**Ladjal E., chibane M.** (2015). Quelques propriétés physicochimiques et fonctionnelles de farines entières de pois, pois chiche et de lentilles. International food Rresearch journal 22 (3), 987-996.

**Lara E., Cortes P., Briones V., Perez M.** (2011). Structural and physical Modification of corn biscuits during baking process. Food Science and Technology, 44, 622-630p.

**Lüy M., Fuat T., Argun M., Turgay P.** (2023). Investigation of the effect of hectoliter and thousand grain weight on variety identification in wheat using deep learning method, Journal of Stored Products Research, Volume 102, 2023, 102116, Issn 0022-474X.

---

### M

---

**Maphosa Y., Jideani V.** (2017). The role of legumes in human nutrition. Functional food-improve health through adequate food, 1, 13.

**Marathe A., Rajalakshmi V., Jamdar S., Sharma A.** (2011). Comparative study on antioxidant activity of different varieties of commonly consumed legumes in India. Food and Chemical Toxicology 49 (9): 2005-2012.

**Martinez S.** (2013). Reemplazo de grasa y azucar en magdalenas. Effect of sobre las Propiedades reológicas, termicas, de textura y propiedades reológicas, termicas,de textura Sensorielles.Technologia de alimentos. Universitat politécnica dev alencia : instituto de Agroquímica y tecnologia de alimentos, 2013,187pages.

**Meena R., Lal R., Yadav S.** (2020). Long-term impact of topsoil depth and amendments on carbon and nitrogen budgets in the surface layer of an Alfisol in Central OhioCatena, 194, Article 104752.

**Melcion J.** (2000). La granulométrie de l'aliment : principe, mesure et obtention. INRA Unité de Physique et Technologie des Végétaux (Phytec) Nantes, INRA Production. Animale, 13 (2), 81-97.

**Molinité A., Leszkowicz A.** (2003). Les mycotoxines dans les céréales : les points importants de contrôle de la production au stockage, le devenir dans les produits dérivés. Laboratoire de

Toxicologie et sécurité alimentaire-Auzeville-Tolosane. Note de l'asedisso No. Spécial Mycotoxines. p. 9.

### O

**Olsson J.** (2000). Modern methods in cereal grain mycology. Thèse de Doctorat, Swedish University of Agricultural Science, Acta Universitatis Agriculturae Suecicae, Agraria. p. 241.37.

**Oomah B., Caspar F., Malcolmson L., Bellido A.** (2011). Phenolics and antioxidant activity of lentil and pea hulls. Food Research International 44 (1): 436-441.

### P

**Palacio M., Etcheverri A., Manrique G.** (2018). Développement of gluten –free Muffins utilising squash seed dietary fibre, volum :55, pp.2955-2962.

**Plancquaert P., Wery J.** (1991). Le pois chiche : culture, utilisation, publications sur les protéagineux. Edition 1991. Itcf. Paris. 12p.

**Parimalavalli R., Babu, Rao J.** (2014). A study on comparison between cereal (wheat) and non-cereal (chickpea) flour characteristics. International. Journal of agriculture. 3. 70-76.

**Purlis E.** (2010). Browning development in bakery products: A review, Journal of Food Engineering, Volume 99, Issue 3, , Pages 239-249, Issn 0260-8774.

**Purseglove J.** (1968). Tropical crops dicotyledons 1. New York, John Wiley and Sons, Inc.,

### R

**Ram J., Singh S., Prem P., Jauhar** (2013). Genetic Resources, Chromosome Engineering, and Crop Improvement: Grain Legumes, Volume I, Volume 1, 390 pages, ISBN: 0203489284, 9780203489284.

**Rebzani F., Doumandji A., Ferrouga S., Alili D.** (2020). Couscous sans gluten incorporé de spiruline : caractérisation biochimique et nutritionnelle. Revue Agrobiologia (2020) 10(2): 2250-2263.

**Remond D., Walrand S.** (2017). Les graines de légumineuses: caractéristiques nutritionnelles et effets sur la santé. Innovations Agronomiques, 60, ff10.15454/1.51385.

### S

**Sanjewa W., Wanasundara J., Pietrasik Z., Shand P.** (2010). « Characterization Of chickpea (*Cicer arietinum* L.) Flours and application in low-fat porkbologna as a Model system. » Food Research International, 43(2), 617-626.

**Schakel S., Van N., Harnack. J.** (2004). Appendix 1. Grain composition table. In Encyclopedia of Grain Science. Editors: Wrigley, C., Corke, H., Walker, E.C. Edition: Elsevier. Volume 3. Pp 441.

**Sharif H., Williams P., Sharif M., Abbas S., Majeed H., Masamba K., Zhong F.** (2018). Current progress in the utilization of native and modified legume proteins as emulsifiers and encapsulants—A review. *Food Hydrocolloids*, 76, 2-16.

**Solanke K., Nikhil D., Pradeep P., Jayashri U.** (2021). Study the Physical and Functional Properties of Chickpea and Black Gram Flours. *International Journal of Current Microbiology* . 10(10): 277-282.

**Sonaye S.** (2012). Mesure et analyse de la taille des particules. *International Journal of Engineering Research and Applications*. Vol. 2, Issue 3, May-Jun, pp.1839-1842.

**Sreerama Y., Sashikala V., Pratape, Vishwas, Singh S., Vasudeva** (2012). Nutrients and antinutrients in cowpea and horse gram flours in comparison to chickpea flour: Evaluation of their flour functionality. *Food Chemistry*. 131. 462–468. 10.1016/j.foodchem.2011.09.008.

**Singh S., Tekdal D., Durgesh K., Vijay P., Sheo M., Renu B., Devendra K.** (2021). *Abiotic Stress and Legumes*, Academic Press, Pages 291-301.

U

**Uebersax M., Occena L.** (2003). « Legumes: Legumes in Diet. » *Encyclopedia of Food Sciences and Nutrition*, 3520-3534.

W

**Wang R., Manu P., Gangola, Sarita J., Pooran M., Gaur, Batega M., Ravindra N., Chibbar, Genotype** (2017). Environment and their interaction influence seed quality traits in chickpea (*Cicer arietinum* L.), *Journal of Food Composition and Analysis*, Volume 63, ,Pages21-27, Issn 0889-1575.

X

**Xu, Yixiang, Thomas, Melissa, Bhardwaj, Harbans** (2013). Chemical composition, functional properties and microstructural characteristics of three kabuli chickpea (*Cicer arietinum* L.) as affected by different cooking methods. *International Journal of Food Science & Technology*. 49. 10.1111/ijfs.12419.

Y

**Yadahally N., Sreerama, Vadakkoot B., Sasikala, Vishwas M., Pratape, Zhu B., Sun Y., Zhong R., Miao X.** (2015). Dietary legume consumption reduces risk of colorectal cancer: evidence from a meta-analysis of cohort studies. *Scientific reports*, 5(1), 8797.

**Yapi1 J., Deffan A., Koko C., Diabagate J., Kouame K., Kouame L.** (2009). Influence de la granulometrie sur les caracteristiques physicochimiques et technofonctionnelles des farines de souchet (*Cyperus esculentus* L).

Z

**Zia U., Muhammed, Iqbal, Shahid, Bhangar, Muhammad, Wiczowski, Wieslaw, Amarowicz, Ryszard** (2008). Antioxidant potential of Desi chickpea varieties commonly consumed in Pakistan. *Journal of Food Lipids*. 15. 326 - 342. 10.1111/j.1745-4522.2008.00122.x.

## Organismes de normalisation

**Direction des services agricoles de la wilaya de bejaia** (2023). Données statistiques.

**Chambre d'agriculture de bejaia** (2023). Données statistiques.

**Codex Alimentaire Standard** (1995). Codex standard for wheat flour. 1re éd. p. 13.

**FAO**, (1996). Céréales, légumes secs légumineuses, produits dérivés et protéines végétales.

**FAO** (2016). Année internationale des légumineuses.

**FAO** (2016). Vol 7. 2<sup>ème</sup> édition Rome. 164 p.

**FAO** (2019). Journée internationale des légumineuses.

**FAO** (1994). Codex alimentary. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome. 7, p. 1–54.

**ISO 659** (2009). Graines oléagineuses — Détermination de la teneur en huile (Méthode de référence).

**Journal Agroline** N°111 Avril/juin (2019).

**Journal officiel de la république algérienne** N° 35, 28 Chabane 1434, 7 juillet (2013).

**Journal officiel de la république algérienne** N° 70. 2. 24 Ramadhan 1425. 7 novembre (2004).

**NFA** (2017). The Swedish Food Composition Database. Swedish National Food Agency, Uppsala.

**NM ISO** (2008). Microbiologie des aliments — Méthode horizontale pour le dénombrement des micro-organismes — Technique de comptage des colonies à 30 °C. NM ISO 4833. (IC08.4.102).

**NM ISO** (2008). Microbiologie des aliments — Méthode horizontale pour le dénombrement des staphylocoques à coagulase positive (*Staphylococcus aureus* et autres espèces). Partie 1 : Technique utilisant le milieu gélosé de Baird–Parker. Rév (IC08.0.150). NM ISO 6888-1.

**NM ISO** (2009). Microbiologie des aliments — Dénombrement des coliformes thermo tolérants par comptage des colonies obtenues à 44 °C. NM 08.0.124.

## Webographie

**Atenodoro R. Ruiz, Jr., MD**, The Medical City, Pasig City, Philippines Revue/Révision complète févr. 2021, site web :

<https://www.msmanuals.com/fr/accueil/troublesdigestifs/malabsorption/maladie-c%C5%93liaque>, consulté le 02/05/2023.

**Amrouche. F** (2012). Du blé au pain, Génie alimentaire, site web :

<https://genie-alimentaire.com/spip.php?article92> (consulté le 02/02/2023)

**Claire**. Le régime sans gluten. Site web : <https://www.cuisineaz.com/articles/qu-est-ce-que-le-regime-sans-gluten-2040.aspx>, consulté le 02/05/2023.

**Journal agroligne**, site web : [https://www.agroligne.com/IMG/pdf/111\\_web.pdf](https://www.agroligne.com/IMG/pdf/111_web.pdf) , consulté le 29/04/2023.

<https://www.futura-sciences.com/planete/definitions/botanique-pois-chiche-19951/>, Consulté le 06/05/2023.

**Laurant chevalier**, site web :

<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/B9782294768040000477> , consulté le 02/05/2023.

**Lyonel. R et Jacqueline. R**. Le régime sans gluten. Site

web : [https://www.doctissimo.fr/html/nutrition/mag\\_2003/mag0530/nu\\_regime\\_sans\\_gluten.htm](https://www.doctissimo.fr/html/nutrition/mag_2003/mag0530/nu_regime_sans_gluten.htm), consulté le 02/05/2023.

Perspectives agricoles de l'OCDE et de la FAO 2022-2031 © OCDE/FAO 2022 site web : <https://www.agri-outlook.org/fr/produits/Perspectives-agricoles-de-OCDE-et-de-la-FAO-autres-produits.pdf> , Consulté le 09/05/2023.

**site web:**

[https://www.passeportsante.net/fr/Nutrition/EncyclopedieAliments/Fiche.aspx?doc=pois\\_chiche\\_nu](https://www.passeportsante.net/fr/Nutrition/EncyclopedieAliments/Fiche.aspx?doc=pois_chiche_nu). Consulté le 02/05/2023.

**Yann Coattrevec, Thomas Harr, Claude Pichard , Mathieu Nendaz**, La maladie cœliaque, site web : <https://www.revmed.ch/revue-medicale-suisse/2015/revue-medicale-suisse-490/bienfaits-du-regime-sans-gluten-mythe-ou-realite> consulté le 02/05/2023. Consulté le 03/05/2023.

**Zubiriya**. Pois chiches : bienfaits et propriétés de ces légumineuses (passeportsante.net). Site web:

[https://www.passeportsante.net/fr/Nutrition/EncyclopedieAliments/Fiche.aspx?doc=pois\\_chiche\\_nu](https://www.passeportsante.net/fr/Nutrition/EncyclopedieAliments/Fiche.aspx?doc=pois_chiche_nu). Consulté le 02/05/2023.

# **Annexes**

## Annexe 1

Ingrédients utilisés pour l'élaboration du biscuit



Vanille sans Gluten EL MOURDJENE



Levure chimique sans Gluten EL MOURDJENE



Farine du pois chiche.

**Annexe 2**

Questionnaire de l'analyse sensorielle

**Fiche de dégustation (madeleines)**

**Sexe : Homme**  **Femme**  **Âge :...** **N° du poste.....** **Date :.....**

2 échantillons de biscuits (madeleines) vous sont présentés. Il vous est demandé d'évaluer les différents caractéristiques organoleptiques en attribuant une note de 1 à 5 selon l'intensité de chaque caractère :

**1/- Aspect visuel :**

1. Très peu attirant
2. Peu attirant
3. Ni attirant ni repoussant
4. Attirant
5. Très attirant

A	B

**2/-Couleur :**

1. Blanche
2. Beige
3. Jaune
4. Brune
5. Marron foncé

A	B

**3/- Odeur :**

1. Très désagréable
2. Désagréable
3. Ni agréable ni désagréable
4. Agréable
5. Très agréable

A	B

**4/- Texture :**

1. Dense
2. Pas assez molle
3. Ni molle ni dense
4. Molle
5. Très molle

A	B

**5/- Gonflement :**

1. Pas gonflé
2. Peu gonflé
3. Moyennement gonflé
4. Assez bien gonflé

A	B

**6/- Goût :**

1. Très désagréable
2. Désagréable
3. Ni agréable ni désagréable
4. Agréable
5. Très agréable

A	B

**7/- L'intensité du goût sucré :**

1. Pas du tout sucré
2. Pas assez sucré
3. Juste bien sucré
4. Trop sucré
5. Beaucoup trop sucré

A	B

**8/- Arrière goût :**

1. Absent
2. Faible
3. Moyen
4. Fort
5. Très fort

A	B

**9/- Appréciation globale :**

Donnez une note de 1 à 9 pour chaque échantillon.

1. Extrêmement désagréable
2. Très désagréable
3. Désagréable
4. Assez désagréable
5. Ni agréable ni désagréable
6. Assez agréable
7. Agréable
8. Très agréable
9. Extrêmement agréable

A	B

**10/- A quelle fréquence consommez vous des biscuits ?**

- Plusieurs fois par jour
- Deux a six fois par semaine
- Une fois par jour
- Jamais

**11/- A quelle fréquence consommez vous des légumineuses (lentilles, pois chiche, haricots...) ?**

- Tous les jours
- une fois par semaine
- une fois tout les deux semaines
- Jamais

## Résumé

Le but de ce travail est d'élaborer un produit alimentaire à base de légumineuses destiné aux malades cœliaques algériens afin de contribuer à la diversification des produits destinées a cette tranche de population, pour cela le pois chiche est broyé et utilisé comme farine afin d'élaborer un biscuit sans gluten de type madeleine.

Des analyses physico-chimiques ont été réalisées sur la farine de pois chiche en vue de la caractériser et de voir sa composition chimique, ensuite des analyses microbiologiques ont été réalisées afin de s'assurer que celle-ci ne présente aucun danger sur la santé du consommateur.

Les résultats d'analyses physico-chimiques et microbiologiques ont été conformes aux normes, ce qui garantit la qualité du produit fini.

Enfin, une analyse sensorielle sur le produit élaboré a été réalisée pour évaluer les caractéristiques organoleptiques ainsi que l'acceptabilité de produit par les consommateurs, les résultats ont montré l'appréciation de ce dernier.

**Mots-clés :** légumineuses, maladie cœliaque, pois-chiche, farine sans gluten, biscuits.

## Abstract

The aim of this work is to develop a legume-based food product for Algerian coeliac patients, in order to diversify national products intended to this part of population. For this purpose, chickpeas are ground and used as flour to produce a gluten-free Muffins-type cookie.

Physico-chemical analyses were carried out on the chickpea flour to determine its chemical composition, followed by microbiological analyses to certify that it presented no health risk to consumers.

The results of physico-chemical and microbiological analyses were in line with standards, confirming the quality of the finished product.

Finally, a sensory analysis of the processed product was carried out to assess its organoleptic characteristics and consumer acceptability. The findings showed that our Muffins were appreciated by consumers.

**Keywords:** legumes, celiac disease, chickpea, gluten-free flour, cookies.

## المخلص

الغرض من هذا العمل هو تطوير منتج غذائي يعتمد على البقوليات كمكون أساسي معد لمرضى السيلياك الجزائريين من أجل المساهمة في تنويع المنتجات المعدة لهذه الشريحة من السكان ، لذلك يُطحن الحمص ويستخدم كدقيق من أجل صنع بسكويت من نوع مادلين خالي من الغلوتين. أجريت التحاليل الفيزيائية والكيميائية على دقيق الحمص لتوصيفه ومعرفة تركيبته الكيميائية ، ثم أجريت التحاليل الميكروبيولوجية للتأكد من أن دقيق الحمص لا يشكل أي خطر على صحة المستهلك.

النتائج أظهرت توافق التحليلات الفيزيائية والكيميائية والميكروبيولوجية مع المعايير ، مما يضمن جودة المنتج النهائي. أخيرًا ، تم إجراء تحليل حسي على المنتج لتقييم الخصائص الحسية بالإضافة إلى مدى تقبل المنتج من قبل المستهلكين ، وأظهرت النتائج مقبولية المنتج من قبل المستهلكين.

**الكلمات المفتاحية :** البقوليات ، داء الاضطرابات الهضمية ، الحمص ، الدقيق الخالي من الغلوتين ، البسكويت.