

**Ministère de L'enseignement Supérieur et de La Recherche Scientifique  
Université Blida 1**



**Faculté des Sciences nature et vie**

**Département Agro-alimentaire**

**Spécialité : Sécurité alimentaire et Assurance de qualité**

**Mémoire présenté en vue de l'obtention du Diplôme de Master académique**

## *Thème*

# **Aptitude technologique de préparation d'une pâte alimentaire sans gluten**

**Présenté par :**

**M<sup>elle</sup> DAOUADJI AHLEM**

**M<sup>elle</sup> MOUNSI LYDIA**

**M<sup>elle</sup> YACOUBI FARIDA**

**Devant le jury composé de :**

<b>Dr KOUIDRI. A</b>	<b>MCA</b>	<b>Présidente</b>	<b>Université de Blida 1</b>
<b>Dr AIT CHAOUCH .F</b>	<b>MCB</b>	<b>Examinatrice</b>	<b>Université de Blida 1</b>
<b>Dr. Dr MEZIANE. Z</b>	<b>MCB</b>	<b>Promotrice</b>	<b>Université de Blida 1</b>
<b>Dr AISSAOUI .O</b>	<b>MCB</b>	<b>Co-promotrice</b>	<b>ISTA-Blida 1</b>

**Année universitaires : 2022-2023**

## REMERCIEMENTS

Premièrement et avant tout nous remercions notre dieu clément et miséricordieux .

En préambule à ce projet ; Nous souhaiterions adresser nos remerciements les plus sincère aux personnes qui nous ont apporté leur aide et contribué à l'élaboration de ce mémoire sous quelque forme que ce soit.

A **Mme MEZIANE Z**, Maitre de conférences à Université SAAD Dahleb, Blida 1  
Nous vous exprimons nos profonds remerciements pour avoir accepté de nous encadrer . Vos compétences scientifiques, nous ont permis de mener à bien cette étude. Votre œil critique nous a été très précieux pour structurer le travail et améliorer la qualité des différents sections .vous y été grandement impliqué par vos directives, vos remarques et suggestions.

Nous vous remercions également pour votre persévérance dans le suivi, la somme des conseils et des recommandations et les encouragements dans les moments clés de l'élaboration de ce travail.

Nous n'oublierons pas d'adresser mes remerciements les plus chaleureux à **Mme AISSAOUI O.**, co-directrice de ce mémoire, Maitre de conférences à Université SAAD Dahleb, Blida 1, de nous 'avoir fait l'honneur de prendre connaissance de ce travail de thèse.

Nous souhaitons aussi exprimer notre profonde gratitude envers **Mme KOUIDRI A.**Maitre de conférences à Université SAAD Dahleb, Blida 1 pour avoir accepté de présider le jury.

Nos sincères remerciements sont adressés à **Mme Ait CHAOUCHEF**, Maitre de conférences à Université SAAD Dahleb, Blida 1 ,pour avoir bien voulue examiner notre travail et rehausser sa qualité à travers ses remarques et critiques judicieuses.

Nous tenons aussi à remercier également à **Mme HACINET**, responsable du laboratoire d'analyse physico-chimique au niveau de l'Office algérien Interprofessionnel des Céréales « OAIC » de Chéraga (Alger).

Enfin, avant de conclure je voudrais rendre un vibrant hommage à toutes les personnes connues ou anonymes qui ont bien voulu m'apporter leur soutien moral et matériel dans l'élaboration de ce document.

# Dédicace

## **Je dédie ce mémoire de fin d'étude**

A mes chers parents qui ont toujours répondu présents, et qui m'ont donné un magnifique modèle de labeur et de persévérance.

Ce travail est le fruit de la rigueur de l'éducation qu'ils m'ont prodigué, avec tout les moyens et au prix de tous les sacrifices qu'ils ont consentis à mon égard. il représenté l'aboutissement du soutien inestimable et des encouragements incontestables qu'ils m'ont apportés tout au long de ma scolarité .

pour leur tendresse inébranlable et le sens du devoir qu'ils ont veillé à m'enseigner depuis mon enfance et qui a fait de moi ce que je suis.

vous vous êtes dépensés pour moi sans compter .j'espère que vous trouverez dans ce modeste travail le témoignage de tout ma reconnaissance et de tout l'amour sans pareil qu'aucun mot ne saurait exprimer .

Je fais une spéciale dédicace à tonton Djamel je le remercie pour son aide et surtout tonton Mamar pour son soutien inconditionnels

## **A mes adorables frères Wassim et Nabil**

Je les remercie pour leurs soutiens et leurs patiences

## **A mon grand père Zaid**

Merci du plus profond de mon coeur

**AHLEM**

## **Dédicace**

*Je dédie ce mémoire*

*A mes très chers parents*

*Pour m'avoir soutenu moralement et matériellement jusqu'à ce jour, pour leur amour, leur encouragement . Que ce travail soit pour vous un faible témoignage de ma profonde affection et tendresse. Que Dieu le tout puissant vous préserve, vous accorde santé, bonheur et vous protège de tout mal.*

*A mon grand frère Zohir*

*Tu n'as cessé de me soutenir et de m'encourager durant toutes les années de mes études et d'être passion dans des situations aussi difficiles En ce jour mémorable, pour moi ainsi que pour toi, reçoit ce travail en signe de ma vive reconnaissance et ma profonde estime.*

*A mes très chers tantes de France Farida et Razika, ainsi que mon oncle Rachid et pour toute l'ambiance, amours dont ils m'ont entouré, pour toutes leurs spontanéités, pour leurs aides précieux, pour leurs encouragements durant toutes les phases de mes études.*

**Farida yacoubi**

## **Dédicace**

*On dédie cette Mémoire ...*

*A ALLAH*

*Tout puissant*

*Qui nous a inspiré*

*Qui nous a guidé dans le bon chemin*

*On vous dois ce que on est devenue*

*Louanges et remerciements*

*Pour votre clémence et miséricorde*

*A nos très chers pères*

*Aucune dédicace, ne pourrait exprimer avec fidélité, la profonde affection, l'estime et le respect que nous vous portons.*

*Vos encouragements, vos prières et vos innombrables sacrifices ont été pour nous d'une grande aide.*

*Aujourd'hui, nous déposons entre vos mains le fruit de votre dévouement ainsi que l'expression de notre amour et notre respect envers vous.*

*Que Dieu vous donne une longue vie pleine de santé et de sérénité.*

**LYDIA**

# Table Des Matières

<b>Partie I : Étude bibliographique</b> .....	18
<b>Chapitre I : Les pâtes alimentaires</b> .....	19
1.1. Définition d'une pâte alimentaire.....	20
1.2. Constituants de la pâte alimentaire.....	21
1.2.2. Eau.....	21
1.2.3. Ingrédients facultatifs .....	22
1.3. Technologie de pastification .....	22
1.3.1. Etapes de fabrication .....	22
1.4. Rôle des différents constituants en pastification.....	24
1.4.1. Rôle des protéines .....	24
1.5. Types et classification des pâtes alimentaires.....	25
1.5.1. Pâtes pressées ou laminées .....	25
1.5.2. Pâtes sèches.....	25
1.5.3. Pâtes fraîches .....	25
1.5.4. Pâtes longues ou courtes.....	26
1.6. Valeur nutritionnelle des pâtes alimentaires .....	26
<b>Chapitre II :Gluten, allergie ou intolérance alimentaire</b> .....	27
2.1. Généralités .....	28
2.2. Allergie ou intolérance alimentaire .....	28
2.2.1. Définition de l'allergie alimentaire .....	29
2.2.2. Définition de l'intolérance alimentaire.....	29
2.2.3. Caractéristiques de l'intolérance alimentaire.....	30
2.3. Différentes formes d'intolérance alimentaire .....	31
2.3.1. Intolérance au lactose .....	32
2.3.2. Intolérance au fructose et au sorbitol .....	32
2.3.3. Intolérance à l'histamine .....	33
2.3.4. Intolérance au gluten (maladie cœliaque).....	33
2.5. Étiologie des maladies liées au gluten.....	35
2.6. Formes de la maladie cœliaque .....	36
2.7. Conséquences de l'intolérance alimentaire au gluten .....	37
2.7.1. Autres conséquences .....	37
2.8. Intérêts d'un régime sans gluten .....	38

<b>Chapitre III : Le millet</b> .....	40
3.1. Généralités .....	41
3.2.1. Provenance du millet.....	42
3.2.2. Description du millet.....	43
3.2.3. Classification botanique .....	44
3.2.4. Variétés de millet .....	44
3.2.5. Grains de millet .....	46
3.2.6. Rendement du millet .....	47
3.4. Composition et valeur nutritionnelle du millet .....	47
3.4.1. Composition nutritionnelle.....	47
3.5. Importance alimentaire .....	48
3.6. Transformation du millet .....	49
3.6.1. Décortication .....	50
3.7. Transformation secondaire du millet.....	51
3.8. production du millet .....	52
3.8.1. Dans le monde .....	52
3.8.2. En Algérie .....	52
3.9. Pastification sans gluten .....	53
3.10. Formulation .....	53
<b>Chapitre IV :Lentille corail</b> .....	54
4.1. Historique.....	55
4.2. Classification.....	56
4.3. Description botanique.....	56
4.4. Variétés de lentilles .....	57
4.5. Composition et valeur nutritionnelle de lentille corail .....	58
4.6. Importance alimentaire .....	60
4.7. Production des lentilles.....	60
4.7.1. Dans le monde .....	60
4.7.2. En Algérie .....	61
4.8. Supplémentation céréales-légumes secs .....	62
<b>Partie II : Étude expérimentale</b> .....	63
<b>Chapitre V :Matériels et méthodes</b> .....	64
5.1. Objectif du travail.....	65
5.2. Lieu de stage .....	65
5.3. Matériel.....	65
5.3.1. Matières premières.....	65
5.3.1.1. Farines .....	65

5.3.1.2.	Préparation de la pâte alimentaire sans gluten .....	67
5.4.	Méthodes d'analyses .....	68
5.4.1.	Granulométrie .....	68
5.4.2.	Analyses physico-chimiques .....	69
5.4.2.1.	Taux d'humidité .....	69
5.4.2.2.	Taux de cendres .....	70
5.4.3.	Analyses biochimiques .....	71
5.4.3.1.	Teneur en gluten.....	71
5.4.3.2.	Taux de protéines .....	72
5.5.	Analyse sensorielle.....	73
<b>Chapitre VI :</b>	<b>Résultats Et discussions.....</b>	<b>75</b>
6.1.	Caractéristiques physico-chimiques des farines .....	76
6.1.1.	Teneur en eau .....	76
6.2.	Les valeurs de la teneur en eau des farines de millet et de lentille de corail permettent 77	
6.3.	Teneur en protéines .....	78
6.4.	Détermination de la teneur de gluten humide et sec .....	79
6.5.	Analyse de la granulométrie .....	79
6.6.	Analyses physico-chimiques des pâtes alimentaires .....	80
6.6.1.	Teneur en eau .....	80
6.6.2.	Taux de cendres .....	80
6.6.3.	Teneur en protéines.....	81
6.7.	Evaluation sensorielle.....	82
6.7.1.	Aspect.....	82
6.7.2.	Saveur.....	83
6.7.3.	Couleur .....	83



## Liste des figures

Figure 1 : pâtes alimentaires.....	20
Figure 2 : Allergie et intolérance alimentaire chez l'adulte (Prost,2021) .....	29
Figure 3 : Classification des réactions alimentaires indésirables (Boettcher et crowe,2014) .....	30
Figure 4 : Réactions anormales aux aliments (Olivier,2013).....	32
Figure 5 : Les protéines du gluten (Drago et <i>al.</i> ,2006).....	35
Figure 6 : Hypersensibilité au gluten.....	36
Figure 7 : Culture du millet , Graines de millet , coupe d'un grain de millet (Rao et <i>al.</i> ,2017).....	42
Figure 8 : Plante de mil avec plusieurs talles (Hamadou et <i>al.</i> ,2017) .....	44
Figure 9 : les types de mil (subhashiniet <i>al.</i> ,2020).....	46
Figure 10 : Culture, Parties de plantes et graines de lentilles corail (BabaAissa,2000) ...	57
Figure 11 : Zones d'aptitude de la culture de la lentille en Algérie (Amairia, Himoudet Lamri,2020) .....	61
Figure 12 : Sac de Farine de millet (500g).....	66
Figure 13 : Sac de farine de lentille corail (1Kg) .....	66
Figure 14 : Diagramme de fabrication d'une pate alimentaire sans gluten (original).....	68
Figure 15 : Tamis pour granulométrie .....	69
Figure 16 : Teneur en eaux des deux échantillons de farines.....	76
Figure 17 : Teneur en cendres des deux échantillons de farines .....	77
Figure 18 : Teneur en protéines des deux échantillons de farines étudiées .....	78
Figure 19:Teneur en eaux des deux échantillons de pates .....	80
Figure 20 : Teneur en cendres des deux échantillons de pâtes.....	81
Figure 21 : Teneur en protéines des deux échantillons de pâtes .....	81
Figure 22 : Appréciation de l'aspect des pâtes alimentaires préparées .....	82
Figure 23 : Appréciation de la saveur des pâtes alimentaires préparées.....	83
Figure 24 : Test de couleur des pâtes alimentaires .....	84
Figure 25 : Tendreté des différents échantillons des pâtes alimentaires.....	84
Figure 26 : Appréciation générale des différents échantillons des pâtes alimentaires .....	85

## Liste des tableaux

Tableau 1 : Classification botanique de Pennisetum glaucum (L) .....	44
Tableau 2 : Noms scientifiques et noms communs des principaux types de millet .....	45
Tableau 3 : Classification botanique du lentille corail .....	56
Tableau 4 : Composition biochimique du lentille corail.....	59
Tableau 5 : Taux d'incorporation des différents échantillons de farines .....	67
Tableau 6 : Résultats des analyses physico-chimiques.....	76
Tableau 7 : Granulométrie des farines utilisées dans la fabrication des pâtes alimentaires en gramme .....	79

## Liste d'abréviations

- C % : Teneur en cendres.  
FLC : Farine de lentille de corail.  
FM : Farine de millet.  
H : Teneur en eau de produit.  
H% : Taux d'humidité.  
GH : Teneur en gluten humide (%).  
GS : Teneur en gluten sec (%).  
M : Masse de la prise d'essai en grammes.  
M0 : Masse, en grammes, de la capsule et de son couvercle.  
M0 : la masse des capsules vides.  
M0 : Masse du refus(g)  
M1 : Masse, en grammes, de la capsule, du couvercle et de la prise d'essai avant séchage  
M1 : Masse des capsules + la prise d'essai.  
M1 : Masse de l'échantillon (g).  
m1 : Masse du gluten humide (g).  
M2 : est la masse, en grammes, de la capsule, du couvercle et de la prise d'essai après séchage.  
M2 : Masse des capsules +cendres.  
m2 : Masse du gluten sec (g).  
N : Facteur de correction de l'azote en protéines totales.  
V : Volume d'acide sulfurique versé pendant titrage en ml.

## Résumé

Les pâtes alimentaires riche en gluten sont universellement consommées et appréciées en raison de leur appétence et de leur faible coût. Cependant, pour certaines personnes, la consommation de ce gluten entraîne des intolérances alimentaires. L'objectif de notre travail consiste à un essai de formulation d'une pâte alimentaire sans gluten à base de farine de millet et enrichie par la farine de lentille de corail, destinée aux personnes intolérables au gluten et aux maladies cœliaques.

Sur le plan méthodologique, les analyses physico-chimiques et biochimiques des farines utilisées sont réalisées et leurs résultats sont conformes à la norme en vigueur ainsi que l'élaboration d'une pâte alimentaire aux taux d'incorporation de farine de millet et celle de lentille de corail (50-50%) et de (70-30%) pour l'échantillon E1 et l'échantillon E2 respectivement .

La granulométrie des deux farines utilisées est homogène. La teneur en eau, en cendres et en protéines révèle une augmentation au niveau de l'échantillon E2. L'absence de gluten est confirmée dans les deux farines et les pâtes alimentaires.

Par ailleurs, nous avons procédé à l'évaluation des caractères organoleptiques des pâtes sans gluten préparées auprès d'un jury de dégustation. Ce dernier émis des résultats différents en comparaison avec un témoin à base de semoule ordinaire. La qualité de pâtes alimentaires préparées uniquement à base d'une céréale et d'une légumineuse a permis de prononcer d'un aspect moyennement lisse, de saveur moyenne, de couleur orange, de texture dure et d'appréciation moyennement acceptable.

**Mots clés :** Pâtes alimentaires, millet, lentilles de corail, échantillon, dégustation.

## **Abstract**

Gluten-rich pasta is universally consumed and appreciated due to its palatability and low cost. However, for some people, the consumption of this gluten leads to food intolerances. The objective of our work consists in a trial of formulation of a gluten-free pasta based on millet flour and enriched with coral lentil flour, intended for people intolerable to gluten and celiac diseases.

On the methodological level, the physico-chemical and biochemical analyzes of the flours used are carried out and their results are in conformity with the standard in force as well as the development of a food paste with the rates of incorporation of millet flour and that of coral lentil (50-50%) and (70-30%) for the E1 sample and the E2 sample respectively.

The grain size of the two flours used is homogeneous. The water, ash and protein content shows an increase in sample E2. The absence of gluten is confirmed in both flours and pasta.

In addition, we evaluated the organoleptic characteristics of the gluten-free pasta prepared with a tasting panel. The latter issued different results in comparison with a control made from ordinary semolina. The quality of pasta prepared solely from a cereal and a legume made it possible to pronounce a moderately smooth appearance, medium flavor, orange color, hard texture and moderately acceptable appreciation.

**Keywords:** Pasta, millet, coral lentils, sample, tasting.

## ملخص

يتم استهلاك المعكرونة الغنية بالجلوتين وتقديرها عالمياً نظراً لاستساغها وانخفاض تكلفتها. ومع ذلك ، بالنسبة لبعض الناس ، فإن استهلاك هذا الغلوتين يؤدي إلى عدم تحمل الطعام. يتمثل الهدف من عملنا في تجربة صياغة معكرونة خالية من الغلوتين تعتمد على دقيق الدخن ومخضبة بدقيق العدس المرجاني ، وهي مخصصة للأشخاص الذين لا يتحملون أمراض الغلوتين والاضطرابات الهضمية. على المستوى المنهجي ، يتم إجراء التحليلات الفيزيائية والكيميائية الحيوية للدقيق المستخدم وتتوافق نتائجها مع المعيار المعمول به وكذلك تطوير معجون غذائي بمعدلات دمج دقيق الدخن والعدس المرجاني (50-50%) و (30-70%) لعينة E1 وعينة E2 على التوالي. حجم حبة الطحين المستخدم متجانسة. يُظهر محتوى الماء والرماد والبروتين زيادة في العينة E2. تم تأكيد عدم وجود الغلوتين في كل من الدقيق والمعكرونة. بالإضافة إلى ذلك ، قمنا بتقييم الخصائص الحسية للمعكرونة الخالية من الغلوتين المحضرة بلوحة التذوق ، والتي أعطت نتائج مختلفة مقارنةً بمجموعة التحكم المصنوعة من السميد العادي. جعلت جودة المعكرونة المحضرة فقط من الحبوب والبقوليات من الممكن نطق مظهر ناعم إلى حد ما ، ونكهة متوسطة ، ولون برتقالي ، وملمس صلب ، وتقدير مقبول إلى حد ما. الكلمات المفتاحية: مكرونة ، دخن ، عدس مرجاني ، عينة ، تذوق.

# **INTRODUCTION**

## Introduction

Les pâtes alimentaires sont universellement consommées et appréciées en raison de leur appétence, de leur préparation facile, de leur faible coût et de leur longue durée de conservation. La semoule de blé dur est la matière première la plus appropriée pour la production de pâtes. Cependant, pour certaines personnes, la consommation de gluten entraîne la maladie coeliaque. C'est l'une des intolérances alimentaires les plus courantes. En effet, des études montrent que la prévalence augmente et atteint 1 % dans la plupart des régions du monde (**Eke-Ejiofor&Oparaodu, 2019**)

À l'heure actuelle, un régime sans gluten strict à vie est le seul traitement efficace contre cette maladie. En conséquence, des produits sans gluten ont été développés, non seulement pour les patients coeliaques et ceux souffrant d'un trouble lié au gluten, mais aussi pour le reste de la population (**Baah et al., 2022**). Cependant, une faible qualité nutritionnelle et une saveur médiocre ont été signalées pour de nombreux aliments sans gluten. Un tel effet pourrait être justifié, en partie, par le fait que ces produits sont rarement enrichis. Parmi les matières premières, le millet (*Pennisetum glaucum L.*) possède certaines propriétés nutritionnelles et fonctionnelles qui sont déficientes ou absentes des grains céréaliers gluten (riz et maïs) (**Taylor et al, 2006**). Ces propriétés nutritionnelles intéressantes proviennent, en partie, de la présence de nombreux composés précieux tels que des protéines de haute qualité, des minéraux (fer, magnésium, calcium, manganèse), des vitamines (B1, B2, B5, B6, B9, E, K B), des fibres alimentaires, des substances antioxydantes (catéchine (**Muthamilarasan et al, 2016**)). Le millet est une excellente alternative à tous les aliments qui contiennent du blé, de l'orge ou du seigle, car il est sans gluten.

Pour relever ce défi, les légumineuses sans gluten riches en protéines et à faible indice glycémique sont demandées sur le marché alimentaire en raison de leur nature riche en nutriments (**Ahmed, et al., 2021**), et les transformateurs tentent de développer des aliments basés sur ces ingrédients pour séduire les clients.

La lentille corail (*Lens esculenta Moench*) est une excellente source de protéines, de fibres alimentaires, des glucides complexes et de l'amidon résistant (16,11 %) (**Almeida Costa et al., 2006**).

L'enrichissement avec de la farine de lentille corail pourrait être un choix judicieux en étant riches en énergie pour développer une pâte alimentaire riche en protéine, en acide aminé et en fer destinée aux malades intolérables de gluten.



Les protéines de lentille corail, en raison de leurs compositions, sont considérées comme un bon complément aux aliments à base de céréales. En plus d'être nutritives, ces protéines de légumineuses sont hautement fonctionnelles et présentent des propriétés telles que la solubilité, la gélification et la liaison à l'eau, jouant un rôle crucial dans la formation de la structure et la sensation en bouche des produits finis.

En conséquence, l'intérêt pour les farines sans gluten a augmenté ces dernières années, motivé par le désir de découvrir des pâtes alimentaires sans blé, réduisant ainsi la souffrance des personnes intolérées.

Ce travail vise à améliorer la situation alimentaire des malades cœliaques algériens voir leur état nutritionnel en contribuant à répondre à leurs besoins de diversification par la formulation et la fabrication d'aliments accessibles.

Plus précisément, l'objectif de notre travail consiste à :

- formuler puis fabriquer des pâtes traditionnelles type tagliatelle à base de millet et lentille corail améliorées par les œufs,
- étudier la faisabilité technologique du millet et de la lentille corail,
- analyser les caractéristiques physico-chimiques et technologiques des deux matières premières utilisées ainsi que les pâtes formulées,
- caractériser l'aspect organoleptique des pâtes formulées.

Pour ce faire, le document est structuré en deux parties :

- une étude bibliographique sur les pâtes alimentaires et les caractéristiques générales du blé, du millet, de la lentille corail ainsi que le gluten et son effet intolérable ;
- une étude expérimentale où sont présentés le matériel et méthodes employés, les résultats exploités.
- Une conclusion et des perspectives sont aussi présentées.

# **Partie I : Étude bibliographique**

# **Chapitre I : Les pâtes alimentaires**

# Chapitre I : Les pâtes alimentaires

Les pâtes alimentaires sont des produit obtenues à partir de semoules de blé dur (ou farine de blé tendre) et de l'eau potable, par un pétrissage non fermenté. Ce sont un produit de consommation courante dans de nombreux pays (**Wagner et al., 2009**). Leur qualité est variable et dépend de celle du produit de base utilisé ainsi que du respect de certains processus de fabrication.

Par ailleurs, et vu la simplicité de fabrication de ces pâtes alimentaires, leur facilité du transport et du stockage, leur bonne qualité nutritionnelle les laissent considéré comme un produit alimentaire le plus universellement consommé (**Benteboula , 2017**). Les pâtes jouent un rôle clé dans le régime méditerranéen. L'OMS et la FAO ont décrit les pâtes comme un aliment sain, durable et de qualité (**Bresciani et Pagani , 2022**).



**Figure 1 : pâtes alimentaires**

## 1.1. Définition d'une pâte alimentaire

Selon une définition généralement admise, les pâtes alimentaires peuvent être décrites comme des produits prêts à l'emploi culinaire, préparés par pétrissage sans fermentation de semoule de blé dur additionnée d'eau potable et éventuellement d'œufs (140 à 350 g d'œufs frais par kg de semoule), et soumis à des traitements physiques appropriés tels que le tréfilage, le laminage et le séchage, ce qui leurs donnent l'aspect souhaité par les usagers. L'ajout de gluten, des légumes et des aromates est également autorisé (**Feillet, 2000**).

En 2003, **Alais et al**, ont défini les pâtes alimentaires comme étant le résultat de la dessiccation d'un pâton non fermenté, moins hydraté que celui du pain, obtenu à partir de semoule de blé dur. Le pâton est ensuite soumis à un laminage, un tréfilage puis un séchage.

# Chapitre I : Les pâtes alimentaires

---

Les pâtes alimentaires sont des produits à consommation courante dans nombreux pays (Wagner et al., 2009).

Le pétrissage est effectué soit à froid, soit à chaud, avec ou sans adjonction d'autres substances autorisées par les lois destinées à modifier soit la composition, soit le goût, soit l'aspect (Vierling, 2003).

## 1.2. Constituants de la pâte alimentaire

Les pâtes alimentaires sont le produit de la semoule de blé dur, fabriqué dans une chaîne d'opérations simples traitant un nombre limité d'ingrédients (semoule et eau) (Benteboula , 2017).

### 1.2.1. Semoule

Chez toutes les civilisations, il est reconnu qu'il est possible de fabriquer des pâtes à partir des trois autres espèces commerciales de blé (dur, tendre vitreux et tendre). Cependant la semoule de blé dur constitue la matière première de choix pour préparer les pâtes alimentaires et considérée comme le témoin auquel les autres matières premières sont comparées.

Cependant et selon le *Codex Alimentarius*(1995), la semoule de blé dur est définie comme étant le produit obtenu des grains de blé par un procédé de mouture ou de broyage au cours duquel le son et le germe sont éliminés. Elle est un composé complexe, comportant différents constituants dont l'amidon (74 - 76 %) et les protéines (12 - 15 %) qui jouent un rôle direct ou indirect soit dans la structuration et l'aération de la pâte en panification, soit dans la fabrication de différentes pâtes alimentaires(Turnbull , 2001 ; Duranti, 2006).

En effet, la semoule est reconnu comme le substrat principal pour la fabrication des pâtes en raison de sa teneur en gluten qui confère aux pâtes (couscous, pâtes, ...) des propriétés technologiques et rhéologiques spécifiques, sa dureté, sa couleur unique, sa saveur et sa qualité de cuisson (Zemmouchi , 2016).

Après transformation en pâte, la semoule donne des produits de bonne qualité culinaire et de stabilité à la cuisson (Sissons, 2008).

### 1.2.2. Eau

Dans le processus de fabrication des produits alimentaire, l'eau est considéré comme un intrant majeur. Sa qualité et selon de nombreuses observations faites par des industriels, peut exercer une influence significative sur l'aspect et le comportement des produits finis lors de la cuisson. Les eaux de faible dureté hydrotimétrique sont généralement recommandées (Feillet, 2000).

## Chapitre I : Les pâtes alimentaires

---

L'eau utilisée pour permettre le malaxage de la semoule doit être complètement évaporée et qu'après dessiccation, le taux résiduel et réglementaire d'humidité des pâtes, soit 12,5% qui s'avèrent légèrement inférieur à celui de la semoule mise en œuvre (14 à 15%) (Mechri, 2019).

### 1.2.3. Ingrédients facultatifs

En plus de la semoule, de la farine et de l'eau, d'autres ingrédients peuvent entrer dans la préparation des pâtes et qui permettent de changer

- la composition comme les œufs entiers, les blancs d'œufs,
- les goûts (arômes et sel).

Indépendamment de l'amélioration de la valeur nutritionnelle, l'incorporation d'œufs peut améliorer l'apparence et la qualité culinaire de la pâte sèche. Cependant, il nécessite un contrôle bactériologique et l'installation d'une chambre ou de cuves réfrigérées pour minimiser le risque de développement de salmonelles.

## 1.3. Technologie de pastification

### 1.3.1. Etapes de fabrication

Les étapes préalables à la fabrication des pâtes comprennent la réception de la semoule à l'usine, le stockage dans des silos et le transport jusqu'au lieu de fabrication.

#### 1.3.1.1. Epuration

Cette opération consiste à nettoyer le blé pour le débarrasser de la poussière et de certaines impuretés comme les cailloux, les petits éclats de bois, les insectes et les résidus de fer pour éviter des défauts de fabrication (Boudreau *et al.*, 1992).

#### 1.3.1.2. Hydratation et malaxage

Les pâtes alimentaires sont fabriquées en mélangeant de l'eau à la semoule dans un malaxeur (Tazart, 2015).

La quantité d'eau ajoutée pour l'hydratation est de l'ordre de 25 à 34 kg pour 100 kg de semoule, de sorte que la teneur en eau finale est proche de 44 à 49 % de matière sèche. Cette quantité d'eau dépend de l'humidité initiale de la semoule de la forme finale des pâtes. Généralement l'humidité initiale se situe autour de 14 % (MS) (Abecassis *et al.*, 1994) et de la forme finale de la pâte (Dalbon *et al.*, 1996). Le mélange des constituants de la pâte est réalisé dans un pétrin qui tourne de 120 tours pendant 20 minutes (Petitot *et al.*, 2010).

## Chapitre I : Les pâtes alimentaires

---

### 1.3.1.3. Formage ou façonnage

Le façonnage de la pâte est assuré soit sous l'effet du laminage, soit par le principe de l'extrusion (le plus couramment utilisé)

#### 1.3.1.3.1. Extrusion

Après le malaxage de la semoule, le mélange est par une vis sans fin dont la fonction est d'assurer la progression des pâtes tout en les comprimant de manière à provoquer leur extrusion à travers un moule situé en tête de vis. Les pressions auxquelles la pâte est soumise lors de cette opération peuvent dépasser 100 kg/cm<sup>2</sup> et semblent indispensables pour donner la compacité nécessaire au produit final pour une meilleure tenue (**Kruger et al., 1996**). Un système de refroidissement par circulation d'eau autour du cylindre d'extrusion et de la tête de presse évite une élévation trop importante de la température qui doit rester inférieure à 45-50°C pour éviter la dégradation des constituants de la semoule (**Petitot et al., 2009c**). La forme des secteurs, la vitesse d'extrusion et les conditions de découpe déterminent le format des produits finis (spaghetti, macaroni, pâtes courtes, papillons).

#### 1.3.1.3.2. Laminage

Durant cette étape, la pâte est pétrie et roulée en une feuille entre deux rouleaux rotatifs. Trois à cinq paires de rouleaux, avec des écarts de rouleaux décroissants, sont utilisées jusqu'à ce que la feuille atteigne l'épaisseur souhaitée. La feuille est ensuite coupée en brins de la largeur et de la longueur souhaitée. Les deux techniques utilisées sont différentes au niveau de l'énergie mécanique dont elle a fait usage pour le façonnage de la pâte (**Abecassis et al., 1994**). L'énergie transférée à la pâte est plus élevée avec le procédé d'extrusion qu'avec le laminage et une partie de celle-ci est dissipée sous forme de chaleur.

De plus, lors de l'extrusion, la pâte est soumise à une contrainte de cisaillement puis lors du laminage, une contrainte d'allongement a été appliquée. Ces différences de ces paramètres (contrainte, chaleur et pression) peuvent conduire à la formation de pâtes de structures différentes (**Petitot et al., 2010**).

#### 1.3.1.4. Séchage

Le séchage des pâtes se fait immédiatement après les opérations de mélange et d'extrusion. Son objectif est de réduire le taux d'humidité final du produit qui ne doit pas dépasser 12,5% (**Boudreau et al., 1992**).

Le séchage stabilise les qualités de la matière première et des traitements mécaniques antérieurs. Il ne doit pas altérer la forme ou l'aspect des pâtes (**Aktan et al., 1992**).

# Chapitre I : Les pâtes alimentaires

---

Les températures sont maintenues suffisamment basses pour éviter la dénaturation des protéines et la gélatinisation de l'amidon (**Zweife et al., 2003**).

## 1.3.1.5. Conditionnement

Les pâtes sont finalement emballées dans des sacs en cellophane ou en polyéthylène. L'emballage est conçu pour protéger le produit contre la contamination, les dommages pendant le chargement et le stockage et pour présenter le produit parmi d'autres produits (Sisson, 2004) de manière favorable (**Cunin et al., 1995**).

## 1.4. Rôle des différents constituants en pastification

### 1.4.1. Rôle des protéines

Les protéines forment un réseau insoluble au cours de la cuisson. Leur rôle est de piégeant et retenir dans leurs mailles les autres composants et spécialement les granules d'amidon gonflés et en cours de gélatinisation (**Bahchachi , 2002**).

Les protéines de gliadines et gluténines forment le réseau du gluten dont le comportement affecte considérablement les propriétés rhéologiques des pâtes. Très extensibles lorsqu'elles sont hydratées, les gliadines confèrent à la pâte son extensibilité, sa viscosité et sa plasticité.

La ténacité et l'élasticité de la pâte s'expliquent par les propriétés des gluténines pour maintenir les granules d'amidon gélatinisé pendant la cuisson.

Les propriétés fonctionnelles du gluten lui permettent lors de la pasteurisation, de former un réseau tridimensionnel étanche, la quantité de gluten et la qualité de ses protéines sont des facteurs prédéterminant de la valeur pâtissière de la semoule et de la texture de la pâte.

D'autre part, la teneur en protéines affecte considérablement la qualité culinaire des pâtes produites.

### 1.4.2. Rôle des glucides

L'amidon et ses composants interviennent de différentes manières lors de la fabrication de pâtes:

- Il s'agit d'un fixateur d'eau: l'amidon absorbe environ 45% de l'eau ajoutée à la semoule , variable en fonction du degré de dommage aux granules et de sa capacité à former des liens non covalents avec les protéines, l'amidon contribue activement à la Formation de la pâte.



# Chapitre I : Les pâtes alimentaires

---

•Les glucides solubles tels que l'amylose exsudé des granules d'amidon pendant la cuisson affectent la texture des pâtes. En effet, la teneur en amylose influence les propriétés d'élasticité et d'extensibilité de la pâte, ce qui a des conséquences sur le comportement à la cuisson ; ainsi, avec l'augmentation du niveau d'amylose, la pâte a des grandeurs d'extensibilité et d'élasticité réduites, et donc une tendance à augmenter la fermeté de la pâte.

### 1.4.3. Rôle des lipides

Bien que leur teneur dans la semoule ne dépasse pas 2 à 3 %, les lipides jouent un rôle important dans la pasteurisation, du moins ceux qui ne sont pas liés à l'amidon. Les lipides sont un facteur déterminant de la couleur de la pâte.

Lors de l'étape de pétrissage de la pâte, les lipides libres interagissent avec les composants de la semoule essentiellement des protéines ce qui conduit à l'amélioration de la force du gluten.

## 1.5. Types et classification des pâtes alimentaires

Les pâtes alimentaires sont classées selon les machines utilisées pour leur fabrication

### 1.5.1. Pâtes pressées ou laminées

Le mélange pâteux est descendu par roulage entre deux cylindres et est réduit en feuilles larges et fines (de l'ordre de mm et moins). Ceux-ci sont soit divisés en rubans, soit apportés à des machines avec des emporte-pièces qui donnent la forme souhaitée. Des chouchous de taille variée au laminoir manuel permettent de réaliser des pâtes fraîches en cuisine

### 1.5.2. Pâtes sèches

Les pâtes sèches vendues dans le commerce sont généralement fabriquées à partir de semoule de blé dur, avec un taux d'humidité inférieur à 12 % ; certains contiennent des œufs mais peuvent aussi contenir des herbes et d'autres.

Ils se présentent sous une grande variété de formes, lanières (lasagnes), rubans (nouilles en français, linguines ou tagliatelles en italien), fils (vermicelles, spaghettis), tubes (macaronis), coussins (ravioli en français, ravioli en italien), etc.

### 1.5.3. Pâtes fraîches

Les pâtes fraîches ont un goût plus fort. Les Français, Chinois et Italiens notamment, continuent de produire des pâtes fraîches à la main, qui ont un goût différent de celui des

## Chapitre I : Les pâtes alimentaires

---

pâtes déshydratées et emballées, mais leur apport en nutriments n'est pas significativement différent.

La composition des pâtes fraîches est réglementée en France. L'appellation « pâtes fraîches » suppose la réunion de deux conditions : un taux d'humidité supérieur à 12 %, une semoule de blé dur de qualité supérieure classée. Le procédé de fabrication des pâtes fraîches se fait par « laminage ».

Au niveau industriel, une pasteurisation et un conditionnement sous atmosphère protectrice (azote/dioxyde de carbone dans un rapport 50/50) qui permet une durée de conservation de plusieurs semaines au réfrigérateur.

### 1.5.4. Pâtes longues ou courtes

C'est une pâte comprimée par une presse à travers une filière qui sert de moule à partir de laquelle on obtient les formes classiques comme les spaghettis, les macaronis, les coques ou découpées à volonté de manière à obtenir des pâtes longues ou courtes. Ces presses, également appelées extrudeuses, se retrouvent principalement dans l'industrie voire dans l'artisanat.

### 1.6. Valeur nutritionnelle des pâtes alimentaires

D'un point de vue nutritionnel, les pâtes sont considérées comme un aliment énergétique. L'apport en protéines est également loin d'être négligeable : 100g de pâtes contiennent 11,5 à 13g de protéines, mais ces dernières sont malheureusement carencées en acides aminés essentiels, en particulier la lysine. Il en va de même pour les vitamines A et B, qui manquent totalement dans les pâtes et les minéraux dont la teneur est relativement faible, car la plupart d'entre eux sont concentrés dans les parties périphériques (péricarpe, couche d'aleurone) et que celles-ci sont séparées de la semoule pendant la mouture.

En termes d'apport calorique, les pâtes sont supérieures au pain, aux pommes de terre et à la viande. Cent grammes (100 g) de pâtes produisent 300 à 350 calories, alors que la même quantité de pommes de terre ne produit que 100 calories, le bœuf 200 calories et le pain 250 calories.

## **Chapitre II**

# **Gluten, allergie ou intolérance alimentaire**

## Chapitre II : Gluten, allergie ou intolérance alimentaire

---

### 2.1. Généralités

Les aliments permettent de fournir des matières premières et de l'énergie indispensables à l'organisme et ne constituent pas en eux même un danger pour l'organisme. Chez les personnes saines, la digestion de ces aliments se manifeste par une tolérance alimentaire.

La tolérance alimentaire correspond à une acceptation ou plus précisément à une non-action de notre système immunitaire envers des molécules alimentaires digérées correctement.

Le gluten est un ingrédient très répandu qui se trouve dans certaines céréales comme le blé, l'orge ou le seigle. Toutefois, récemment, est apparu le terme de « sensibilité au gluten » qui laisse penser que de nombreux individus souffrent des symptômes à l'ingestion du blé ou du gluten et dont les symptômes disparaissent à son arrêt (**Wegrzyn , 2017**)

On désigne sous le nom de réaction adverse aux aliments ou « sensibilité au gluten » l'ensemble des réactions aux aliments ou aux additifs alimentaires dont le mécanisme est soit une intolérance (cas le plus fréquent), soit une véritable allergie.

Certaines personnes sont génétiquement prédisposés et le gluten est la cause d'une hyperperméabilité intestinale avec ou sans intolérance et reste un cas à part dans les intolérances alimentaires (**Plunkett, 2017**).

De nombreux thérapeutes et nutritionnistes soutiennent l'idée que divers problèmes de santé puissent provenir d'intolérances alimentaires. Ces dernières seraient responsables de nombreuses maladies, allant de l'eczéma, à la migraine en passant par la fibromyalgie (**Philipott , 2016**)

Afin de mieux cerner et d'éviter les confusions entre les deux , allergie et intolérance alimentaire, il était nécessaire de s'intéresser à la terminologie employée pour mieux les définir.

### 2.2. Allergie ou intolérance alimentaire

Ces dernières années, de nombreuses discussions sont nées de la confusion entre une allergie vraie et une intolérance alimentaire. La prévalence des allergies et des intolérances alimentaires semble augmenter au cours des dernières décennies, influencée par des aspects géographiques, culturels et des habitudes alimentaires (**Burks et al .,2012**). Ces manifestations sont devenues un problème actuel de santé publique.

## Chapitre II : Gluten, allergie ou intolérance alimentaire

### 2.2.1. Définition de l'allergie alimentaire

De nombreuses controverses sont nées de la confusion entre une allergie vraie et une intolérance alimentaire.

L'allergie alimentaire constitue une préoccupation importante en allergologie du fait de l'augmentation de son incidence cette dernière décennie.

L'allergie alimentaire dite « vraie » par opposition à celles dites « fausses » implique le développement d'un mécanisme immuno-allergique en réponse à l'ingestion d'un allergène alimentaire.

Les allergies « fausses » sont aussi appelées « intolérances alimentaires » et ne nécessitent pas d'intervention du système immunitaire même si les manifestations cliniques qu'elles déclenchent peuvent être similaires à celles retrouvées en cas de « vraie » réaction allergique (Morin, 2012).

L'allergie alimentaire est définie comme l'ensemble des manifestations cliniques digestives et extra-digestives aiguës ou chroniques liées à une réponse immuno-allergique contre des allergènes alimentaires.

### 2.2.2. Définition de l'intolérance alimentaire

L'intolérance alimentaire (pseudo allergie ou fausse allergie alimentaire) correspond aux symptômes prenant l'apparence d'une réaction allergique et consécutifs à l'ingestion d'un aliment, indépendamment de la mise en jeu d'une réaction immunologique vraie et en relation le plus souvent avec un mécanisme non spécifique d'allure histaminique (Bousquet et al., 1997).

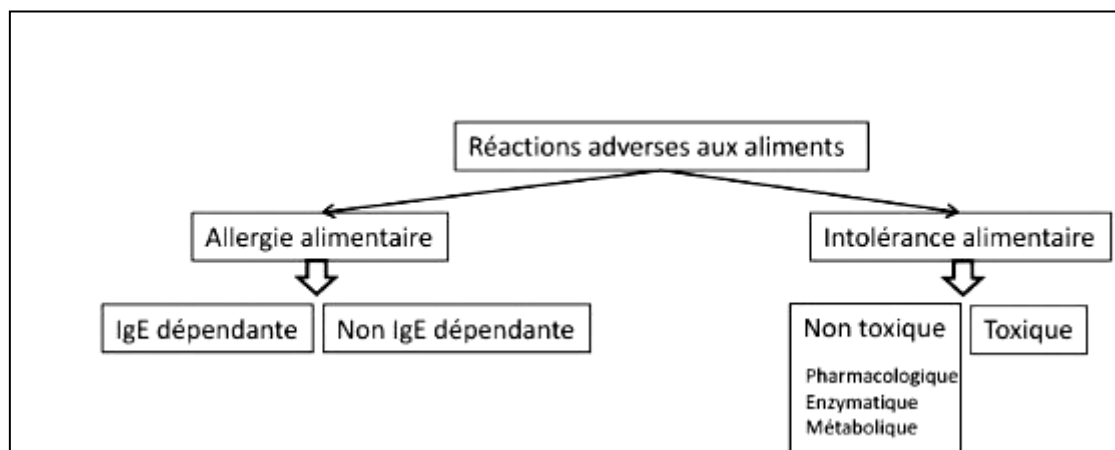
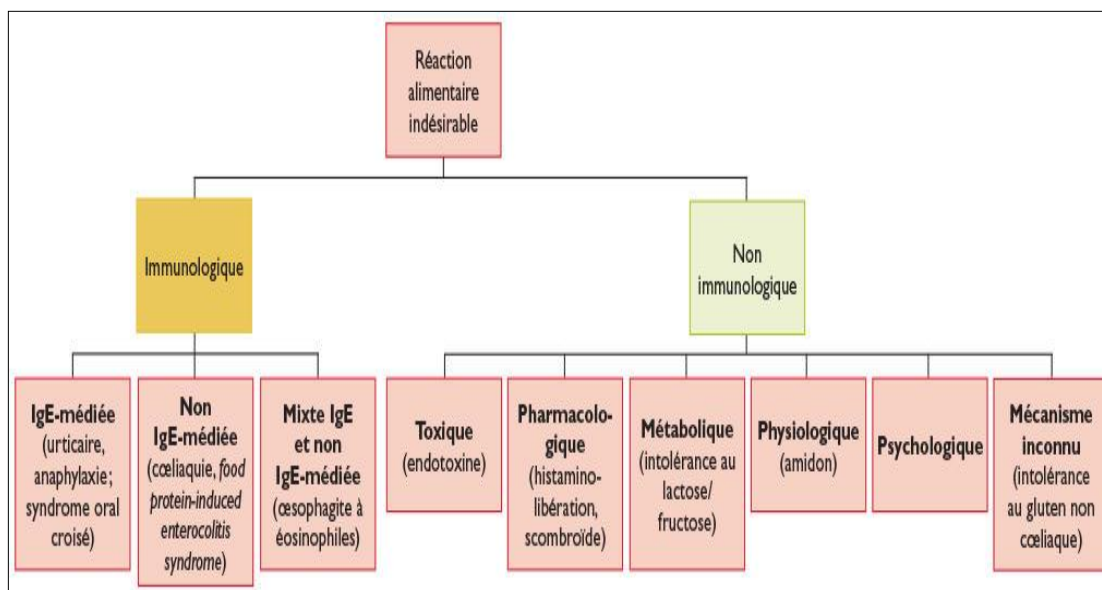


Figure 2 : Allergie et intolérance alimentaire chez l'adulte (Prost,2021)

## Chapitre II : Gluten, allergie ou intolérance alimentaire

La grande différence entre l'intolérance et l'allergie est que l'allergie est le résultat d'une réaction anormale du système immunitaire, alors que l'intolérance correspond à une réponse physiologique sans rapport avec le système immunitaire.



**Figure 3 : Classification des réactions alimentaires indésirables (Boettcher et crowe,2014)**

L'émergence actuelle d'un spectre de maladies liées au gluten est mal comprise. Il pourrait être lié à la sélection à travers les siècles de variétés de blé à forte teneur en gluten, dictée par une logique de productivité et moins de nutrition (Sapone *et al.*, 2012).

En effet, le régime sans gluten est parfois difficile à appliquer. Un suivi avec un diététicien ou médecin nutritionniste peut être ouvrir un chemin vers une alimentation sans gluten. Avec une bonne prise en charge et suivis des consignes, le sujet souffrant de cette intolérance pourra bien vivre avec cette intolérance.

Dans ce contexte, nous souhaitons présenter une vue d'ensemble des réactions alimentaires indésirables sur la base de leur mécanisme non immunologique et qui soit utile à notre démarche expérimentale.

### 2.2.3. Caractéristiques de l'intolérance alimentaire

Une grande variété d'aliments est consommée sans problème particulier mais, chez certaines personnes, les aliments ou certains de leurs composants peuvent entraîner :

- des réactions allergiques secondaires allant d'une rougeur (érythème) à une réaction pouvant être mortelle (choc anaphylactique) ;
- ou une intolérance alimentaire à l'un des ingrédients de l'aliment.

## Chapitre II : Gluten, allergie ou intolérance alimentaire

---

L'intolérance alimentaire peut entraîner des symptômes ressemblant à l'allergie (nausées, vomissements, épigastralgies, diarrhées) mais elle ne met pas en cause le système immunitaire. Elle apparaît quand l'organisme n'arrive pas à digérer un aliment ou l'un des composants alimentaires.

Elles se résument par des intoxications, des réactions pharmacologiques, métaboliques, physiologiques, psychologiques, ou encore de mécanisme inconnu.

Les intolérances alimentaires sont chroniques et liées à une hypersensibilité de l'organisme à un produit. Le corps ne fabrique pas les enzymes nécessaires à la bonne digestion de l'aliment, ce qui peut entraîner des troubles digestifs désagréables. Elle apparaît suite à l'ingestion récurrente du produit à risque. Elles se manifestent par des :

- Sensation d'inconfort, surtout digestif, après consommation d'aliments.
- Symptômes sont limités à la zone digestive. ils ne sont pas immédiatement, mais fluctue en fonction du jour, du repas, etc.
- L'intolérance n'est pas dangereuse. L'aliment peut être consommé en quantité faible ou occasionnellement.

Les intolérances les plus courantes sont le lait de vache, le gluten, le glutamate. Cependant, la plupart des aliments courants peuvent être incriminés comme le thé, le poisson, le jaune d'œuf.

L'allergie alimentaire n'est pas une intolérance alimentaire. En effet l'intolérance alimentaire est une manifestation, le plus souvent digestive, consécutive à l'ingestion d'un aliment ; elle peut ressembler à une réaction allergique mais sans la mise en jeu d'une réaction immunologique vraie (**Ricci et al.,2020**)

De plus, contrairement à une allergie alimentaire, les réactions d'intolérances alimentaires ont tendance à être dose-dépendantes et non reproductibles (**Cianferoni , 2020**).

Enfin, le terme « intolérance au gluten », qui est très souvent utilisé à tort comme synonyme de maladie cœliaque, est à bannir car il est ambigu et contradictoire et ne reflète pas du tout l'aspect auto-immun de cette pathologie (**Ludvigsson et al., 2013**).

### 2.3. Différentes formes d'intolérance alimentaire

Les scientifiques d'aujourd'hui comprennent déjà plus ou moins bien un certain nombre d'intolérances. Nous avons tendance à savoir à peu près ce qui se passe dans l'intestin et pourquoi les personnes atteintes ne peuvent plus tolérer certains aliments. Les intolérances bien documentées comprennent celles au lactose, au fructose, au sorbitol, à l'histamine et la maladie cœliaque.

## Chapitre II : Gluten, allergie ou intolérance alimentaire

Les intolérances peuvent varier chez une même personne au cours du temps en fonction de l'équilibre de sa flore intestinale et donc de la perméabilité de sa membrane intestinale. Ainsi le problème est plus la réponse à l'aliment que l'aliment lui-même.

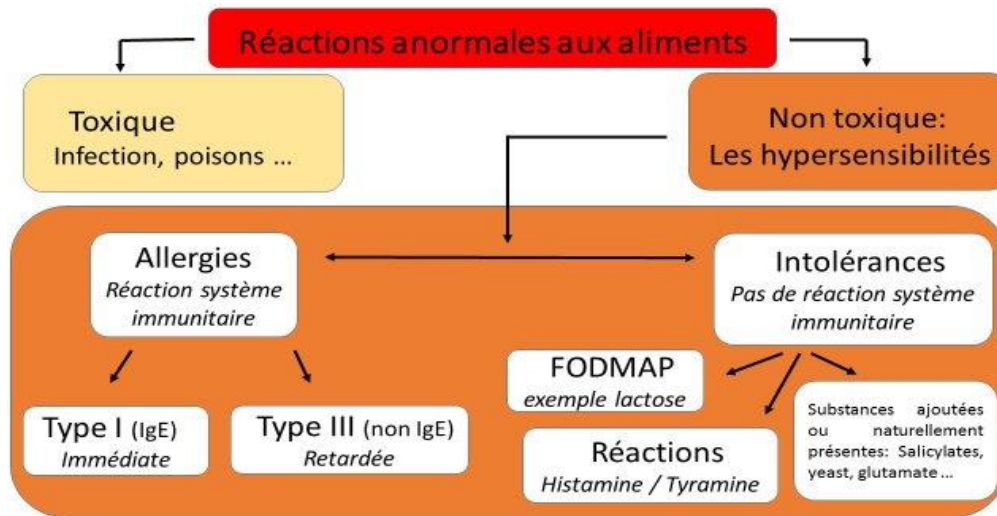


Figure 4 : Réactions anormales aux aliments (Olivier,2013)

### 2.3.1. Intolérance au lactose

L'intolérance la plus courante est probablement l'intolérance au sucre présent naturel dans le lait, le lactose. Le lactose est présent dans le lait et de nombreux produits laitiers est habituellement digéré par une enzyme présente dans l'intestin grêle : la lactase.

En Allemagne, l'intolérance au lactose touche jusqu'à 15 pour cent de la population. Dans d'autres régions, en particulier en Asie, elle est encore plus fréquente. Chez les personnes atteintes, l'enzyme spécifique qui décompose le lactose se produit à de faibles concentrations dans l'intestin. L'organisme ne peut pas digérer correctement le lactose, ce qui entraîne des flatulences et des douleurs abdominales.

### 2.3.2. Intolérance au fructose et au sorbitol

Le fructose est un sucre retrouvé dans les fruits et légumes en proportions variables. Il est présent dans bon nombre de sucreries ou de boissons sous forme de fructose ou sirop de glucose-fructose. Lorsqu'il est absorbé de manière incomplète (mal absorbés), il est fermenté par la flore intestinale et provoquent la formation de gaz et de substances chimiques accrues, comme les acides gras à chaîne courte. Chez les individus prédisposés l'augmentation de la production des gaz, des acides gras à chaîne courte et de la disponibilité des composés osmotiquement actifs en raison de la malabsorption donne lieu aux symptômes de l'intolérance au fructose.



## Chapitre II : Gluten, allergie ou intolérance alimentaire

---

En cas d'intolérance au fructose, cette protéine de transport transportant le fructose de l'intestin vers le sang ne fonctionne pas correctement, ce qui entraîne des problèmes d'utilisation du fructose et des symptômes de flatulence, de douleur abdominale, de fatigue et de sautes d'humeur. L'intolérance au sorbitol L'intolérance au sorbitol est similaire - où l'intestin ne peut pas digérer correctement le succédané de sucre sorbitol.

### 2.3.3. Intolérance à l'histamine

L'histamine est un composé chimique dérivé de l'acide aminé histidine. Elle est connue pour son rôle dans la réponse immunitaire de l'organisme aux protéines étrangères, en particulier la réponse allergique. Elle est produite par les globules blancs du corps appelés mastocytes, mais est également présente naturellement dans de nombreux aliments

L'histamine est naturellement présente dans l'organisme, est un neuromédiateur qui participe largement à de nombreux phénomènes métaboliques. La diamine oxydase (DAO) est la principale enzyme impliquée dans la dégradation de l'histamine ingérée.

Une intolérance à l'histamine peut se développer lorsque le corps produit plus d'histamine qu'il ne peut en décomposer. Elle est également appelée pseudo-allergie et s'apparente à une allergie alimentaire, dans le sens où l'histamine messagère entraîne aussi des symptômes tels que rougeurs, flatulences, vertiges et écoulement nasal (Lackner et al., 2019).

Par ailleurs et lorsque les cellules immunitaires libèrent trop d'histamine lors d'une allergie, l'intolérance à l'histamine est due à l'absence d'une enzyme spécifique dans l'intestin et le sang qui décompose l'histamine se trouvant dans les aliments. Les aliments riches en histamine tels que les fromages affinés et la saucisse séchée peuvent alors déclencher ses symptômes. Un test d'intolérance à l'histamine permet d'adapter son alimentation en conséquence (Martin et al., 2016).

### 2.3.4. Intolérance au gluten (maladie cœliaque)

#### 2.3.4.1. Définition et source naturelle du gluten

Selon dictionnaire Larousse ; le terme gluten, provient du latin glutinum signifiant colle, correspond à un ensemble de protéines présent à l'état naturel dans le grain de nombreuses céréales. Il est aussi décrit étant la partie protéique de la farine des céréales, substance visqueuse jouant un rôle dans le gonflement de la pâte lors de la fabrication du pain (Pellegrini & Agostoni, 2015).

## Chapitre II : Gluten, allergie ou intolérance alimentaire

---

Pour le Codex Alimentarius, le gluten est défini comme étant « la fraction protéique du blé, du seigle, de l'orge, de l'avoine ou de leurs variétés croisées et de leurs dérivés, à laquelle certaines personnes sont intolérantes et qui est insoluble dans l'eau et dans le Na Cl à 0,5 M »

Cette fraction protéique du gluten est divisée en deux sous-groupes différents :

- les prolamines (essentiellement les gliadines), qui sont des protéines monomériques ;
- et les glutélines, qui sont des protéines polymériques.

Les prolamines sont impliquées dans les troubles liés au gluten et sont donc à exclure des régimes des personnes atteintes d'un tel trouble (**Codex Stan 118-1979, 1979**).

Le gluten se retrouve non seulement dans le blé (tendre ou dur), mais aussi dans d'autres céréales. Les céréales sont des plantes, pour la majorité de la famille des graminées :

- blé (ensemble de céréales appartenant au genre *Triticum*),
- orge (genre *Hordeum*),
- seigle (*Secalecereale* L.),
- avoine (*Avenasativa* L.),
- millet (terme générique désignant plusieurs espèces de poacées),
- maïs (*Zeamays* L.),
- sorgho (genre *Sorghum*), riz (genre *Oryza*) par exemple.

Parmi cette liste de céréales, on exclut des céréales contenant du gluten comme le blé, le seigle ; l'avoine et l'orge.

### 2.4. Définition de maladie cœliaque

Le terme «cœliaque» provient du grecque « koeliakos » qui signifie souffrance de l'intestin, ou « koilos » qui veut dire ventre ou creux, terme attribué, pour la première fois, par Arateus De Cappadoce en Grèce vers le 2ème siècle après « Jésus-Christ ».

La maladie coeliaque est apparue avec la culture des céréales dont les écrits furent traduits du grec par Francis Adams en 1856 (**Paveley et al., 1988**).

En **1999**, **Rostami et al**, on défini la maladie cœliaque, d'étiopathogénie complexe, qui s'explique par une entéropathie sensible au gluten, survenant chez des sujets génétiquement prédisposés. Elle se traduit classiquement par un tableau de malabsorption lié à une atrophie villositaire totale ou subtotale de l'intestin grêle, régressive sous régime sans gluten. Le traitement repose sur l'exclusion alimentaire à vie de trois céréales alimentaires (blé, seigle, orge).

## Chapitre II : Gluten, allergie ou intolérance alimentaire

En 2012, la Société Européenne de Pédiatrie, Gastroentérologie, Hépatologie et Nutrition, la définit comme étant une entéropathie auto-immune secondaire à l'ingestion de gluten chez des sujets prédisposés génétiquement (Husby et al., 2012).

Selon le *Codex Alimentarius*, le gluten est la « fraction protéique du blé, du seigle, de l'orge, de l'avoine ou de leurs variétés croisées et de leurs dérivés, à laquelle certaines personnes sont intolérantes et qui est insoluble dans l'eau et dans le NaCl à 0,5 M ».

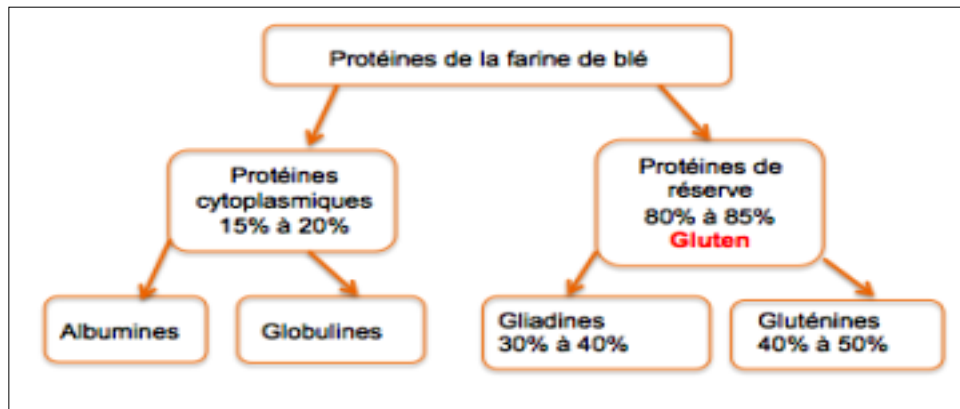


Figure 5 : Les protéines du gluten (Drago et al., 2006)

### 2.5. Étiologie des maladies liées au gluten

- **Intolérance au gluten ou maladie cœliaques**

La maladie cœliaque est une maladie auto-immune dont l'antigène causal est connu, La maladie survient chez des patients génétiquement prédisposés exprimant une molécule du système HLA de classe II de type DQ2 (allèles DRA1\*05-DQB1\*02) ou DQ8 (allèles DRA1\*03-DQB1\*0302) (Sollid et al., 2005)

C'est une maladie chronique intestinale auto-immune liée à l'ingestion de gluten. On Elle se manifeste suite à l'absorption d'aliments contenant du gluten ou le système immunitaire des personnes concernées réagit à la présence de la gliadine, protéine du gluten, en produisant divers anticorps

Pour la maladie Cœliaque, ce sont les protéines de stockage du blé, de l'orge, du seigle et de l'avoine qui constituent la toxicité de ces céréales. Les protéines du gluten déclenche une réponse immunitaire qui entraîne une inflammation de la muqueuse intestinale et un inconfort gastro-intestinal subséquent, une carence nutritionnelle à long terme et des symptômes consécutifs comme l'ostéoporose et l'anémie.

## Chapitre II : Gluten, allergie ou intolérance alimentaire

- **Sensibilité au blé non-cœliaque**

L'allergie alimentaire à la farine de blé peut être liée aux protéines solubles (albumines et globulines) ainsi qu'au gluten. Si les allergènes en cause sont multiples, la majorité des études rapportent que le gluten et notamment les gliadines sont un allergène majeur dans l'allergie alimentaire (Sampson, 1989).

- **Hypersensibilité au gluten « non cœliaque**

L'hypersensibilité au gluten a été décrite pour la première fois en 1978 par Ellis et Linaker.

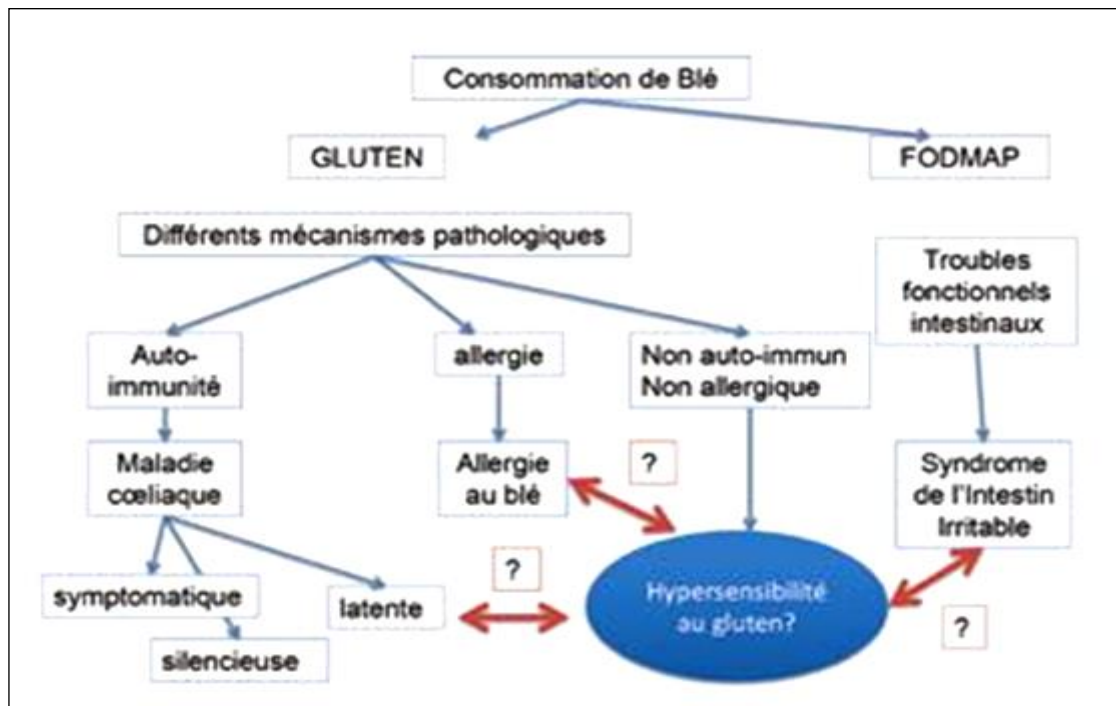


Figure 6 : Hypersensibilité au gluten

Ce trouble se définit comme une entité clinique au cours de laquelle l'ingestion de gluten entraîne des symptômes digestifs et/ou extradiigestifs et qui régressent sous régime sans gluten, après élimination d'une allergie au blé et d'une maladie cœliaque. Elle est reconnue comme une pathologie liée à la consommation de gluten (Catassi *et al.*, 2015).

### 2.6. Formes de la maladie cœliaque

Selon Rostom *et al.*, (2006) et Schmitz et Garnier-Lengline (2008), la maladie cœliaque se présente sous cinq formes :

- **Classique**: patients présentant des signes et des symptômes de malabsorption ou de malnutrition.

## Chapitre II : Gluten, allergie ou intolérance alimentaire

---

- **Atypique** : patients présentant des signes et des symptômes de Selles irrégulières, retard pubertaire ; Asthénie chronique et irritabilité, trouble de l'attention.
- **Silencieuse**: patients sans symptômes ou maladies gastro-intestinales associées à la maladie cœliaque. Cette forme est caractérisée par des sérologies positives et une atrophie villositaire de sévérité variable.
- **Latente** : patients qui sont asymptomatiques, les sérologies positives sont isolées et la muqueuse intestinale étant morphologiquement normale avec parfois seulement une augmentation de la proportion des lymphocytes intra-épithéliaux. Le malade est bien porteur des gènes HLA DQ2/DQ8.
- **Réfractaire** : malades cœliaques ne répondent pas à un régime sans gluten et sont sujets pour développer une duodéno-jéjuno-iléite ulcérateuse ou des lymphomes.

### 2.7. Conséquences de l'intolérance alimentaire au gluten

Les conséquences de la maladie cœliaque varient d'une personne à l'autre et aussi selon l'âge d'apparition :

- Chez les nourrissons, il provoque une diarrhée chronique, une perte d'appétit et des troubles du comportement qui accompagnent la croissance.
- Chez l'enfant, la maladie cœliaque peut provoquer des symptômes digestifs (diarrhée, nausées, vomissements, perte d'appétit, ballonnements) ou non digestifs (retard de croissance, fatigue chronique, puberté retardée, etc.)
- Chez l'adulte, les manifestations gastro-intestinales les plus courantes sont : diarrhée chronique, ballonnements ou perte de poids. Lorsque la maladie n'est pas diagnostiquée tôt, des symptômes non digestifs peuvent apparaître : fatigue chronique, anémie, plaies buccales à répétition, fractures osseuses (associées à l'ostéoporose), infertilité, atteinte nerveuse, etc.

Non traitée et traitée à long terme, la maladie cœliaque peut vous exposer à des risques de cancers du tube digestif, d'infertilité, d'ostéoporose et même de ralentissement de la croissance (chez les enfants).

#### 2.7.1. Autres conséquences

- **Anémie ferriprive**

L'anémie ferriprive inexpliquée -indépendamment de l'âge constitue une manifestation initiale fréquente de la maladie cœliaque.

## Chapitre II : Gluten, allergie ou intolérance alimentaire

---

- **Syndrome du côlon irritable, dyspepsie fonctionnelle**

Dans la maladie cœliaque, les troubles non abdominaux spécifiques sont souvent les symptômes prédominants voire les seuls symptômes.

- **Élévation des valeurs hépatiques**

Dans un tiers des cas, la maladie cœliaque s'accompagne d'une augmentation des transaminases, qui se normalisent à nouveau sous traitement - sauf dans de rares cas où coexistent une hépatite auto-immune ou une hépatopathie indépendante

- **Carence en calcium, ostéoporose**

L'ostéoporose n'est pas seulement une conséquence fréquente de la maladie cœliaque, mais elle peut aussi en être la seule manifestation.

- **Diabète de type 1 sucré ; Syndrome polyglandulaire auto-immun**

En tant que maladie à composante auto-immune, il n'est pas rare que la maladie coeliaque soit associée à d'autres maladies auto-immunes, au sens strict ou au sens large. L'incidence augmente avec la durée de la maladie (**Leffler , 2011**).

Enfin, l'émergence des troubles liés au gluten et l'augmentation de leur incidence poussent les spécialistes et nutritionnistes à réfléchir sur une stratégie qui permet une amélioration clinique rapide, les symptômes peuvent disparaître en l'espace de quelques semaines.

### 2.8. Intérêts d'un régime sans gluten

La maladie cœliaque est une maladie permanente. Le suivi strict d'un régime sans gluten permet à la muqueuse intestinale de se régénérer et de contrôler la maladie. Le traitement de la maladie coeliaque repose sur un principe : ne plus jamais consommer de gluten.

Dans ce cas le régime reste le seul traitement de cette intolérance. Il repose donc sur la suppression totale et permanente de l'alimentation, de tous les aliments contenant l'une ou l'autre des céréales toxiques (blé, seigle, orge et triticale et, à un degré moindre, avoine) et leur substitution par d'autres sources (riz, maïs, millet).

Un régime sans gluten doit être suivi pour contrôler les symptômes, régénérer la muqueuse intestinale et éviter les complications à long terme telles que l'anémie, ostéopénie et ostéoporose, voire lymphome de l'intestin grêle (**Adelman et al., 2018**).

Un régime sans gluten consiste à supprimer de l'alimentation tous les ingrédients composés de l'une des céréales considérés comme toxique : le blé, le seigle et l'orge .Ces produits toxiques seront substitués par d'autres céréales comme le riz, le maïs ou autres.

## **Chapitre II : Gluten, allergie ou intolérance alimentaire**

---

Pour éviter toute intolérance, une élimination complète du gluten de l'alimentation, car la dose tolérable de gluten n'est pas définie jusqu'à ce jour mais elle doit être très basse.

D'autres céréales dont la dose de prolamine n'est pas toxique comme le sarrasin, le soja et le millet sont déclarés sans gluten.

# **Chapitre III**

## **Le millet**



### 3.1. Généralités

Les pâtes alimentaires ont toujours occupé une place prépondérante dans l'alimentation humaine notamment des algériens. La semoule de blé dur est la matière première utilisée pour la production des pâtes alimentaires. La structure spécifique d'un réseau viscoélastique de protéines de gluten enserrant des granules d'amidon, est à l'origine du faible index glycémique des pâtes alimentaires et est responsable de leurs qualités culinaires et organoleptiques appréciées par le consommateur. Malgré ces qualités, les pâtes alimentaires au blé engendrent des désordres métaboliques chez les intolérants au gluten (**Laleg et al. ; 2016**).

Ces dernières années les pathologies associées au gluten ont progressé dans le monde entier et en Algérie, avec des implications cliniques majeures.

La maladie cœliaque est une maladie auto-immune causée par l'ingestion ainsi qu'à la sensibilité au gluten.

Le principe du régime sans gluten pour les maladies cœliaques repose sur la suppression ces aliments toxiques contenant le gluten avec des tentatives faites pour enlever les problèmes liés à l'utilisation du blé en utilisant des matières premières accessibles.

En Algérie les maladies cœliaques souffrent de non disponibilité d'aliments sans gluten de consommation courante. S'ils existent sur le marché, ou ils sont importés, ces aliments sont très chers et ne sont pas à la portée de cette catégorie de population. Cependant la nature offre plusieurs variétés de céréales exemptes de toxicité pour ces personnes souffrant de l'intolérance au gluten notamment : le riz, le maïs, le millet ... (**Rosell et al., 2014**).

Les substituts de produits avec gluten doivent apporter qualitativement et quantitativement autant de glucides, de protéines, de fibres mais aussi plus de vitamines et de minéraux afin de palier au déficit engendré par leur malabsorption intestinale dans le cas de cette maladie.

En conséquence, l'intérêt pour les farines sans gluten a augmenté ces dernières années, motivé par le désir de découvrir des pâtes alimentaires sans blé, réduisant ainsi la souffrance des personnes intolérées.

Dans ce chapitre, nous abordons deux produits sans gluten employées comme alternatives aux farines ou semoules de blé à prescrire chez les sujets atteints de troubles liés au gluten.

## Chapitre III : Le millet

### 3.2. Le millet

Le millet « (*Pennisetum glaucum*) » est l'une des plus anciennes céréales alimentaires connues de l'humanité et peut-être la première céréale utilisée à des fins domestiques. C'est une plante annuelle herbacée de la famille des graminées aussi appelé mil.

Le *Pennisetum glaucum* est une céréale vivrière qui sert à l'alimentation humaine, à très petites graines, cultivées dans les régions sèches notamment en Afrique et en Asie (Terra Millet, 2016).

Les graines du millet sont utilisées comme source de protéines et de vitamines B1, B2, A et C (Gnis, 2011). C'est une plante sans gluten; adaptée aux conditions extensives, permet de décharger les rotations avec beaucoup de céréales, résistant à la sécheresse, adaptée aux régions sèches (Agridea, 2008).



Figure 7 : Culture du millet , Graines de millet , coupe d'un grain de millet (Rao et al,2017)

#### 3.2.1. Provenance du millet

La culture du millet remonte en effet à la plus haute antiquité, cultivée dans les temps préhistoriques dans beaucoup d'endroits dont les premières traces datent de -8700 avant JC. Les données de fouilles dans le site de DharTitchilt en Mauritanie, témoignent de la culture du millet par les populations locales durant une période de deux siècles, de 1000 à 900 avant J.C.

Depuis des siècles, le millet est une culture populaire en Inde et constitue l'aliment de base de près d'un tiers de la population mondiale. Il peut s'adapter à la marginalité de divers sols et conditions environnementales.

## Chapitre III : Le millet

---

Le millet est une céréale ancestrale. Il aurait d'abord été cultivé en Chine, où des archéologues ont trouvé des traces de sa culture et de son utilisation datant de -8700 ans avant JC. Il fut d'ailleurs considéré comme l'une des 5 plantes sacrées dans l'antiquité Chinoise, et il y est longtemps resté plus important que le riz a culture s'est ensuite étendue vers l'occident en passant par l'Inde, durant le néolithique, avant d'arriver en Europe où on en retrouve des traces datant de -5000 avant JC.

Au cours des âges, il a été présent dans de nombreux rites, légendes et traditions. Il fait partie des 7 plantes sacrées des Jardins Suspendus de Babylone.

Jusqu'au Moyen Âge le millet a été consommé dans toute l'Europe méditerranéenne sous forme de bouillie ou de galette appelée milhàs en Languedoc, cruchade en Gascogne, polenta en Italie, etc. Alors qu'il a graduellement été remplacé en Europe par des cultures de blé, de seigle, de maïs, de riz et de pommes de terre, il reste très présent en Afrique et dans certaines parties d'Asie puisque sa culture demande très peu d'eau, et qu'il est donc parfaitement adapté à des terrains plus secs (*Niro et al., 2019*).

Le millet a été introduit dans d'autres régions du globe comme les États-Unis (EU), l'Australie, etc. En 1857, le millet est introduit aux Emirats Unis.

Les graines de millet sont largement utilisées dans les pays africains et asiatiques avec environ 97 % de la production mondiale de millet se produit dans ces régions. C'est une source alimentaire majeure dans les régions arides et semi-arides du monde.

Le millet est aussi cultivé dans les pays d'Afrique du Nord (Tunisie, Algérie, Libye et le Maroc) et en Espagne (*Vietmeyer, 1996*). En Algérie sa culture est surtout répandue au Sud-ouest du pays.

Dans la région d'Adrar, il est anciennement cultivé partout dans les différentes régions de Touat, Gourara et Tidikelt (*Bouziane, 2008*).

### 3.2.2. Description du millet

Le millet perlé « *Pennisetum glaucum L* », est une graminée annuelle de la famille des Poaceae. Pour son grain qui peut être utilisé pour produire de la farine et d'autres denrées alimentaires, le millet est largement cultivé en Afrique et en Inde.

Il possède des tiges minces qui sont divisées en nœuds distincts qui se présente comme une herbe très robuste qui a des talles larges et pousse en touffes.

## Chapitre III : Le millet

---

Les feuilles du millet sont linéaires ou en forme de lances, possèdent de petites dents et peuvent atteindre jusqu'à 1 m de long avec une inflorescence en une panicule spiciforme, composée de plusieurs épillets plus petits où le grain est produit.



**Figure 8 : Plante de mil avec plusieurs talles (Hamadou et al.,2017)**

A maturité, le millet perlé peut atteindre 0,5 à 4 m de hauteur selon le cultivar et est une plante annuelle, récoltée après une saison de croissance. Le millet perlé peut également être appelé "petit mil", "mil à chandelle" ou "mil perle" et provient de la zone sahélienne de l'Afrique.

### 3.2.3. Classification botanique

Le mil appartient au genre *Pennisetum*, famille des Poaceae (Gramineae), sous famille des Panicoideae, tribu des Paniceae dont la soixantaine d'espèces est répartie dans les régions tropicales et subtropicales.

La classification botanique deculture de millet est présentée dans le tableau 1:

**Tableau 1: Classification botanique de *Pennisetum glaucum* (L) R.Br (Saisou,2011)**

Classification ancienne		APG3	
<b>Régne</b>	Plantae	<b>Régne</b>	Plantae
<b>Division</b>	Magnoliophyta	<b>Clade</b>	Angiospermes
<b>Classe</b>	Liliopsida (Monocotylédones)	<b>Clade</b>	Monocotylédones
<b>Ordre</b>	Cyperales	<b>Clade</b>	Commelinidées
<b>Famille</b>	Poaceae(Graminés)	<b>Ordre</b>	Poales
<b>Sos-famille</b>	Panicoideae	<b>Famille</b>	Poaceae
<b>Tribu</b>	Paniceae	<b>Tribu</b>	Paniceae
<b>Sous-tribu</b>	Panicineae	<b>Genre</b>	<i>Pennisetum</i>
<b>Section</b>	Pénicillariae	<b>Espèce</b>	<i>Pennisetum glaucum</i> (L )
<b>Genre</b>	<i>Pennisetum</i>		
<b>Espèce</b>	<i>Pennisetum glaucum</i> . (L.) R. Br.		

### 3.2.4. Variétés de millet

Le millet pénicillaire, *P. glaucum*, est aussi appelé mil à chandelle ou petit mil. Pour les

## Chapitre III : Le millet

---

anglophones l'appellation la plus fréquente est pearl millet, mais l'on rencontre également bulrush millet, caltai! millet et cand le millet. Les Indiens l'appellent bajra en langue hindi. C'est une espèce annuelle, diploïde ( $x = 7$ ,  $2n = 2x = 14$ ), sexuée, hermaphrodite, préférentiellement allogame avec une protogynie fortement marquée (Bezançon et al., 1999). Les variétés de mil peuvent être classées en deux grands groupes - précoce et tardif - selon la pluviosité des régions dans lesquelles elles sont cultivées.

Les millets couvrent dix genres et au moins 14 espèces. Le *millet perlé* est le plus couramment cultivé, parmi ces variétés :

- **Millet Perlé** : *Pennisetum typhoides*, surnommé millet roseau, millet queue de chat. C'est la plus résistante à la sécheresse et à la chaleur; elle est plus susceptible à l'attaque des oiseaux.
- **Millet digital** : *Eleusine coracana*, surnommé millet patte d'oiseau. À la différence d'autres millets, cette variété a besoin de températures fraîches et de pluies plus importantes; son apport en protéine est plus élevé que les autres variétés.
- **Millet Japonais ou Millet de Basse-cour** : *Echinochloa crusgalli* surnommé millet shama ou sanwa. Il est produit principalement en Inde, Asie orientale certaines régions d'Afrique et cultivé également à l'Est des U.S.A. comme plante de fourrage.

D'autres variétés existent comme Millet "Queue de Renard" (Millet de Hongrie) produite au Proche Orient.

**Tableau 2 : Noms scientifiques et noms communs des principaux types de mil (Seghiri et Tachour, 2022)**

Culture	Noms communs	Origine supposée
<i>Pennisetum glaucum</i> Afrique	Mil chandelle, mil perlé, bajra	Occidentale tropicale
<i>Eleusine coracana</i>	Eleusine cultivée	Ouganda ou région avoisinante
<i>Setaria italica</i>	Millet des oiseaux	Asie de l'Est (Chine)
<i>Panicum miliaceum</i>	Millet commun	Asie centrale et orientale
<i>Panicum italicum</i>	Petit mil	Asie du Sud-Est
<i>Echinochloa crusgalli</i>	Moha du Japon	Japon
<i>Paspalum scrobiculatum</i>	Millet indigène	Inde

## Chapitre III : Le millet

Le millet perlé est le millet le plus cultivé de tous les millets et il a le potentiel de rendement le plus élevé aussi de tous les mils en cas de sécheresse et de stress thermique. Il a été caractérisé comme ayant un génome de 2530 Mb et un nombre de chromosomes

diploïdes de 7 ( $2n = 14$ ).



Figure 9 : les types de mil (subhashiniet *al.*, 2020)

Le millet des oiseaux se trouve en Europe, en Chine, en Inde, en Indonésie, dans la péninsule coréenne et dans l'Union soviétique.

Par ailleurs, en Algérie, les noms les plus populaires sont Elbechna ou Eldokhn, et qui sont appelées dans plusieurs différentes régions avec d'autres dénominations

### 3.2.5. Grains de millet

La structure du grain de millet est similaire à celle des autres grains de céréales, avec trois parties principales, à savoir l'endosperme, le germe et le péricarpe.

Le grain de mil peut être presque blanc, jaune pâle, vert, brun, gris, bleu ardoise ou pourpre ou cette différence de couleur des grains est due aux pigmentations respectives du péricarpe, de l'aleurone et de l'endosperme combinées à l'épaisseur du péricarpe (Mac Donough et Rooney, 1989).

Les variétés de millet diffèrent en fonction de nombreux facteurs notamment les propriétés et la composition des grains.

Les grains ovoïdes sont longs d'environ 3 à 4 mm, beaucoup plus petits que ceux des autres céréales, mais beaucoup plus grands que ceux des autres mils, et la masse pour 1000 grains varie de 3 à 14 g avec une moyenne de 8 g.

## Chapitre III : Le millet

---

Le péricarpe du caryopse du grain de mil se compose d'un épicarpe comportant des couches d'une ou deux cellules, d'un mésocarpe dont l'épaisseur varie en fonction du génotype et d'un endocarpe composé de cellules transversales et tubulaires. La couche du mésocarpe ne contient pas de granule d'amidon. La couche de testa est fine, constituée d'une seule couche de cellules de 0,4 µm d'épaisseur et parfois pigmentée (FAO, 1995).

La couche à aleurone est constituée d'une seule couche de cellules. Les corps protéiques dans l'endosperme sont sphériques. Leur dimension diffère selon les espèces et également à l'intérieur de l'endosperme du même grain de mil. Les corps protéiques sont plus nombreux dans la zone farineuse que dans la zone cornée (Serna-Saldivar et Rooney, 1995). Abdelrahman et al. (1984) ont déterminé à partir de mil cultivé aux USA que le grain de mil était composé de 7,2 à 10,6% de son (péricarpe et aleurone), 15,5 à 17,4% de germe et 73,9 à 76,2% d'endosperme.

### 3.2.6. Rendement du millet

Le mil, *Pennisetum glaucum*, est la céréale la plus tolérante à la sécheresse et se répartit principalement dans les zones arides et semi-arides de l'Afrique. Comparé au maïs, au sorgho et à l'arachide, les efforts de recherche en ce qui concerne la culture du millet n'ont pas permis d'atteindre plus de 1.000 à 1.500 kg/ha et les variétés améliorées ont produit jusqu'à 2.000 à 3.500 kg/ha (Aebi, Knapp et Hiltbrunner, 2014).

## 3.4. Composition et valeur nutritionnelle du millet

### 3.4.1. Composition nutritionnelle

Le millet est une céréale sans gluten, dont grain est d'une valeur nutritionnelle supérieure à celle du riz et du blé, qui constitue le principal produit de la culture (Andrews et Kumar, 1992). Ses grains peuvent être considérés comme un substitut potentiel pour la diversification alimentaire en raison de leurs attributs nutritionnels supérieurs à ceux des autres céréales comme le maïs, le blé et le riz (Taylor & Kruger, 2018).

La constitution chimique proximale des grains de millet perlé sur une base de poids sec comprend 11,80 g/100 g de protéines, 72,20 g/100 g de glucides, 7,80 g/100 g de fibres alimentaires, 6,4 g/100 g de lipides, 1,8 g/100 g de minéraux. Ils ont également une quantité notable de vitamines, de minéraux et de composés phénoliques (Srilekha et al., 2019)

Le grain sec du mil comprend environ 70% d'hydrates de carbone qui sont essentiellement composées de l'amidon. Ses sucres libres présents sont le glucose, le fructose, le saccharose et la raffinose et leur teneur varie de 1 à 1,4%, le saccharose (0,3 à 1,2%) étant le



## Chapitre III : Le millet

---

sucres prédominants (**Malleshi, 1986**). Les grains de millet ont un faible indice glycémique (IG=55), le millet conviendrait alors, à certains égards pour traiter des diabétiques.

La matière grasse du millet est présente sous forme de lipides libres (60 à 70 %), en plus de lipides liés et structurels. Le millet perlé a une teneur en lipides libres de 6 à 8% (**Lai et Martson, 1980**).

La teneur en lipides (triacylglycérols) du grain de millet perlé est plus élevée (~6%), par rapport au blé et au riz. Il est riche en AGPI (75%) avec une forte teneur en acides gras oméga-3. La digestibilité des matières grasses était plus élevée chez le millet que chez le maïs (**Adeola et Orban, 1994**).

Les protéines du millet sont riches en acides aminés : méthionine, leucine et isoleucine. Il est le seul grain qui conserve ses propriétés alcalines après la cuisson ce qui convient pour les personnes ayant une allergie au blé (**Léder, 2004**).

Le millet contient des minéraux tels que le phosphore, le fer, le zinc, le cuivre et le manganèse. Les grains de millet sont plus pauvres en vitamines que ceux du maïs, exceptée la vitamine A (132 équivalents rétinol contre 64 (blé) ; 0 (riz) ; 47 (sorgho) et 32 (maïs) , ce qui laisse que dans les pays du tiers monde, les ressources en vitamine A sont très limitées et le millet peut aider à résoudre ce problème si l'on sélectionne des variétés plus riches en vitamine A (**Jayaraman, 2002**). Il a été rapporté que le millet a de nombreuses fonctions nutritives et médicales (**Yang et al., 2012**).

### 3.5. Importance alimentaire

Le millet est une céréale qui a donc une valeur calorique et nutritionnelle (protéines, lipides, glucides) relativement proche de celles des autres céréales (blé, riz, etc.). Sa valeur énergétique du millet (784 calories/100g) est la plus élevée en comparaison avec les autres céréales (**Dupin et al., 1963; Rooney & McDonough, 1987; Gates et al., 1995**).

Mais la spécificité du millet réside dans la taille de son germe proportionnellement plus importante que celle des autres semences. Or, c'est le germe qui est le plus concentré en nutriments, ce qui rend la petite graine très intéressante pour sa teneur en minéraux et vitamines, notamment en magnésium et vitamines du groupe B.

La valeur nutritive du millet est équivalente à celle du maïs, mais plus importante que celle du sorgho. Ceci est dû à sa richesse en protéines digestibles de bonne qualité et la présence de lipides et autres éléments nutritifs déjà cités (**Loumerem, 2004**).



## Chapitre III : Le millet

---

Les travaux de recherche conduits sur des enfants ont montré que tous les sujets nourris avec des régimes à base de mil ont maintenu un équilibre positif en ce qui concerne l'azote, le calcium et le phosphore (**Vietmeyer, 1996**).

Mais, si le millet a connu une importance particulière ces dernières années, c'est essentiellement grâce à son absence de gluten et donc à sa très bonne digestibilité.

Le grain du mil renferme un certain nombre de composés antinutritionnels tels que : les polyphénols et le tannin, l'acide phytique. Ils sont riches en leurs riches sources de composés bioactifs, y compris, les flavonoïdes et leurs glucosides, l'acide folique, les caroténoïdes et les coumarines. Ces composés bioactifs sont connus pour agir comme piègeurs de radicaux libres, pour moduler les activités enzymatiques et pour protéger contre une variété de maladies, en particulier les maladies cardiovasculaires et aussi certains types de cancer (**Chandrasekara&Shahidi, 2011**). Les grains de mil sont de bonnes sources de polyphénols (**Chethan, 2008**).

Les flavonoïdes couramment trouvés dans les mils sont la catéchine, la quercétine, la lutéoline, l'orientine, l'apigénine, l'isooriétine, la vitexine, la myricétine, l'isovitexine, la daidzéine, la sponarine, la violanthine, la lucénine-1 et la tricine (**Pathak et al., 2018**). Reichert et Youngs (1979, cités par Rooney&McDonough, 1987) ont signalé que la coloration ardoisée (gris) de la farine du mil est due à la présence de Cglycosylflavanoïdes.

La présence du tannin condensé dans le mil n'est pas signalée, ce qui lui confère une bonne digestibilité, alors que les analyses des graines du mil en utilisant la chromatographie liquide de haute performance (HPLC) ont montré que le mil contient des teneurs élevées en acides féruliques, coumariques, cinnamiques, gentisiques et phénoliques.

Les composés bioactifs des variétés de millet possèdent également des effets antidiabétiques en raison de leur capacité à inhiber les principales enzymes digestives des maladies cliniques. L'extrait aqueux de graines de millet a montré des activités anti-hyperglycémiques et anti-lipidémiques contre les rats diabétiques induits par la streptozotocine (**Sireesha et al., 2011**).

### 3.6. Transformation du millet

Avant toute transformation traditionnelle ou industrielle, comme pour toutes les céréales, les graines de millet, doivent subir un décorticage.

Le péricarpe des grains de mil est très friable et il est pulvérisé en fines particules lors du broyage du grain (**Abecassis et al., 1978**). Il est alors impossible de séparer ses particules.

## Chapitre III : Le millet

---

Le décortilage, adapté au millet en raison de leur grain lisse, consiste en une usure des grains de l'extérieur vers l'intérieur, éventuellement suivie d'un broyage de l'albumine en farine ou en semoule (**Chantereau et al., 2013**). Lors de la dissection, il faut veiller à éliminer les couches périphériques du grain (péricarpe et volonte) et du germe, tout en minimisant les pertes de certaines parties de l'albumen. La présence de fibres et de tanins dans la farine affecte la qualité de la cuisson, le goût et la texture des aliments. Dans certains cas, les grains sont cuits avant l'opération de broyage.

### 3.6.1. Décortication

La décortication est une technique dans laquelle le débranning des grains se déroule par l'élimination mécanique de la couche externe de graines

Ce traitement de fractionnement joue un rôle important en dissociant les propriétés des propriétés-mécaniques, des compositions histologiques et des origines différentes. Ainsi, la première transformation des Céréales sépare les enveloppes peu digestibles de l'albumine Amylacé.

La plasticité des enveloppes est utilisée lors de cette étape. Les fractions générées, de compositions biochimiques différentes, ont des qualités nutritionnelles distinctes. Traditionnellement, ce procédé consiste en un pilonnage du grain, suivi d'un vannage, mais, comme pour le broyage, il existe désormais des dissecteurs mécaniques dont l'utilisation se développe de manière assez importante dans certains pays . Il s'agit de coquilles abrasives qui présentent l'énorme avantage d'être relativement peu coûteuses à installer et relativement simples à entretenir et à faire fonctionner. Quelle que soit la technique utilisée le grain est généralement humidifié avant décortilage, soit par addition d'environ 10% d'eau, soit par trempage pendant une nuit, afin de faciliter l'élimination du son. Un décortilage idéal doit permettre une élimination totale des enveloppes en gardant la couche d'Aleuron riche en nutriments essentiels (Favier, 1989).

Des parties des grains sont abrégées à des rythmes très différents et il y a nécessairement des pertes d'endosperme, surtout lorsque les grains sont endommagés, et même lorsque le grain est uniquement.

De plus, les grains de millet ne sont pas sphériques et ont tendance à être beaucoup abrasés plus vite dans certains endroits que d'autres. La fraction des sons obtenus contient donc la plupart des péricarpes ainsi que dans le cadre du germe et de l'endosperme. Cette fraction est généralement utilisée pour Régime alimentaire des animaux domestiques, tandis

## Chapitre III : Le millet

---

que la fraction des grains pelés, qui contient La plupart de l'endosperme et une grande partie du germe sont conservés pour la consommation humain.

Selon certains auteurs, la technique traditionnelle de l'abri dans le mortier et le pilon permettrait d'obtenir un produit plus riche en nutriments essentiels et avec une teneur en fibres plus faible que **(Reichert et Youngs, 1977)**.

Mais l'efficacité du décorticage est avant tout conditionné par la structure du grain et plus particulièrement par l'épaisseur du péricarpe et de la texture Albumen. En effet, de Francisco et al. (1982) ont montré que le péricarpe des grains de millet Détachant dans de petits fragments à la jonction entre l'endosperme et la couche d'Aleron, De plus, les grains ont un la prépondérance de l'endosperme à cornes offre un meilleur rendement désactivé que les grains à Endosperme principalement farineux qui se brise plus facilement **(Mouny et Kumar, 1995)**.

### 3.7. Transformation secondaire du millet

Les étapes de transformation des graines de millet passent par les étapes suivantes :

- **La première étape :**

- **Nettoyage :** éliminez les impuretés telles que les tiges et les feuilles, les mottes de terre, les pierres et les particules moisies dans les matières premières grâce à un processus de nettoyage en plusieurs étapes pour garantir la pureté des matières premières.

- Mouture : consiste à séparer l'amande et les enveloppes .

- Augmenter les différences d'élasticité et de friabilité entre les parties périphériques du grain et l'amande.

- **La deuxième étape :**

- Mouillage et absorption d'eau par les grains.

- Distribution de l'eau absorbée à l'intérieur des grains pendant la période de repos.

D'autres opérations unitaires sont nécessaires :

- Fragmentation

- Broyage : dissocier l'amande et les enveloppes .

- Désagrégage : fractionner les semoules vêtues .

- Convertissage : Réduire l'amande en farine .

- Séparation

## Chapitre III : Le millet

---

- Division : séparation granulométrique des sons et des farines.
- Epuration : classement aérodynamique des semoules.

### 3.8. production du millet

#### 3.8.1. Dans le monde

Au cours des deux dernières décennies, l'importance du millet comme aliment de base, en particulier en Inde, a diminué en raison de divers facteurs, notamment l'augmentation des revenus, l'urbanisation croissante et les politiques gouvernementales.

Selon la FAO, la production mondiale de mil était estimée à 28,2 millions de tonnes métriques en 2019, qui était passée à 30,5 millions de tonnes métriques en 2020. L'Inde est le plus grand producteur mondial avec une part de marché mondiale de 33,3% en 2020.

Le millet a été l'un des nutriments de base des humains en Afrique. Les pays africains, principalement le Niger, le Mali, le Nigéria, le Burkina et le Soudan, détiennent plus de 40,0 % de la consommation mondiale de mil et il est également cultivé dans les pays d'Afrique du Nord tels que la Tunisie, l'Algérie, la Libye et le Maroc (**Loumerem, 2004**).

Les Nations Unies (ONU) ont proclamé en 2016 comme l'année internationale des légumineuses et encourage l'introduction de ces aliments aux vertus nutritionnelles exceptionnelles dans les régimes alimentaires du monde.

#### 3.8.2. En Algérie

L'Algérie est un pays à prédominance de régions arides et semi-arides, ses prospections sur les céréales à la recherche de ressources locales durant la période post coloniale ont concerné beaucoup plus les blés sahariens comme l'orge et le millet. Concernant le mil, durant la période coloniale, l'existence de cette espèce en Algérie a été signalée par [65], mais les informations durant cette période restent très restreintes.

En 1988, [75] signalent l'existence du mil dans le Sahara algérien, au niveau des oasis. Des travaux récents dans la région d'Adrar dont ceux de [76, 77, 78] et à Tamanrasset [79], ont permis d'inventorier et de caractériser quelques cultivars de mils et de sorghos de ces régions.

Le mil a été introduit dans les oasis de la région d'Adrar très anciennement, selon le témoignage des agriculteurs de la région [76].

Le millet est utilisé dans ces régions sous forme de plusieurs plats culinaires : couscous à base du mélange de : farine de mil, farine de blé tendre, farine de sorgho «Hamra» et farine de (**Bouziane, 2016**).

### 3.9. Pastification sans gluten

Malgré l'effet positif de l'ajout d'ingrédients fonctionnels, ils comportent des coûts et les consommateurs associent souvent leur présence dans les pâtes sans gluten à un aliment artificiel. Par conséquent, la recherche d'alternatives dans le choix des matières premières et/ou des conditions de fabrication est nécessaire pour améliorer la qualité des pâtes sans gluten (**Marti et Pagani, 2013 ; Naqash et al., 2017**).

La modification des technologies de fabrication traditionnelles et l'adoption de technologies alternatives peut présenter certaines des solutions les plus intéressantes pour la fabrication de pâtes à partir d'ingrédients non conventionnels (**Marconi et Carcea, 2001**). Des conditions de fabrication appropriées permettent une réorganisation de l'amidon dans des matières premières sans gluten assurant ainsi une bonne qualité culinaire avec une texture adéquate et des propriétés nutritionnelles améliorées (**Marti et Pagani, 2013**).

### 3.10. Formulation

Lorsque la quantité appropriée de substituts de gluten est incorporée dans la farine sans gluten, les pâtes peuvent être fabriquées par un processus conventionnel. L'ajout d'amidon, d'hydrocolloïdes et d'autres additifs permettent la fabrication de produits sans gluten avec ressemblance aux homologues contenant du gluten (**Naqash et al., 2017**).

# **Chapitre IV**

## **Lentille corail**

## Chapitre IV : Lentille corail

---

Les légumineuses sont l'une des plus importantes anciennes cultures. C'est une famille végétale qui fournit le plus grand nombre d'espèces utiles à l'homme, qu'elles soient alimentaires, industrielles ou médicinales.

La lentille (*Lens esculenta* Moench.) est une importante culture de légumineuses nutritives. Sa culture améliore la fertilité de la fixation biologique de l'azote du sol. Le grain entier est utilisé dans certains plats et également moulu en farine pour faire une variété de préparations. Il est mélangé avec de la farine de blé dans la production de pain et de gâteaux. . Les feuilles et les tiges sèches, les gousses vides et les morceaux cassés sont tous utilisés comme aliments pour le bétail.

### 4.1. Historique

La lentille corail, *Lens esculenta* Moench. est l'une des espèces végétales appartenant à la famille des légumineuses les plus importantes au monde en raison de leur qualité nutritionnelle (Pana, 2012). Elle est l'un des premiers légumes à avoir été cultivé par l'homme, dès la préhistoire. La lentille est l'une des plus anciennes cultures originaires du Proche-Orient et de la région méditerranéenne et des premières cultures cultivées, censées avoir été originaire des hautes terres de la Turquie à l'Afghanistan (Vavilov, 1950.) Elle était connue des anciens en Égypte et en Grèce et s'est répandue en Europe, en Inde et en Chine, et maintenant elle est introduite et cultivée dans la plupart des régions tempérées subtropicales et chaudes.

La lentille est même citée à plusieurs reprises dans la Bible et a été retrouvée dans des tombes égyptiennes.

En 1898, les lentilles ont signalées leur importation d'Égypte à Buffalo (Etas unis), New York, en 1898. En 1908, les lentilles ont été cultivées dans des parcelles expérimentales au Texas (Wilson & Law (1972)).

La lentille se décline en plusieurs couleurs formant un véritable arc-en-ciel : lentille rouge, lentille corail, lentille blonde, lentille brune, lentille verte.

Partout dans le monde, la lentille corail et la lentille blonde sont les plus consommées. La lentille est un légume sec qui n'a pas de saison pour pousser. Aujourd'hui les principaux pays producteurs sont le Canada et l'Inde. La France produit aussi ses propres variétés de lentille verte (lentille verte du Puy, lentille verte du Berry, lentille de Champagne).

Il s'agit en fait d'une lentille rouge dont la membrane a été retirée. Il est principalement cultivé en Turquie. De diamètre plutôt petit, il est apprécié pour sa jolie couleur rose saumon

## Chapitre IV : Lentille corail

qui donne une touche colorée à vos recettes. Son goût est comparable aux lentilles vertes, mais plus fin et légèrement sucré. C'est une graine largement utilisée dans la cuisine indienne, asiatique et nord-africaine. Dans ces pays, c'est l'une des principales sources de protéines.

La lentille corail peut être consommée toute l'année, et ne nécessite pas de trempage contrairement aux autres lentilles.

En Algérie, cette plante a été cultivée autrefois dans les jardins et les champs des fellahs (surtout en Kabylie) qui n'envisageaient guère la satisfaction de leur consommation. La lentille n'a jamais occupé jusqu'à 1939 de superficies bien importantes. La guerre d'Algérie, a pu créer des besoins et a aidé au développement de la lentille.

### 4.2. Classification

*Lens Esculenta* Moench appartient à l'Ordre Rosales, Sous-Ordre Rosineae, Famille Leguminosae et sous-famille Lotoideae. De nombreux botanistes la considèrent dans une famille indépendante appelée Papilionaceae (**Lawrence, 1951**).

En 1930, cette dernière est également désignée sous le nom de Fabaceae et transférée à l'Ordre Fabales (**Baruline, 1930**). Le tableau 3 présente la classification botanique de la lentille corail :

**Tableau 3 : Classification botanique du lentille corail (Baruline,1930)**

Régne	Plantae
Sous règne	Tracheobionta
Division	Magnoliophyta
Classe	Magnoliopsida
Sous classe	Rosidea
Ordre	Fabales
Famille	Fabaceae
Genre	Lens
Espèce	<i>Lens Esculenta</i> Moench L.

### 4.3. Description botanique

La culture de lentille est une plante annuelle, 60 cm de haut, pubescente à poils courts ; le degré de la pubescence varie selon les variétés. Elle est caractérisée par une tige presque dressée ou légèrement grimpante, anthocyanée sur toute la surface ou seulement à la base, plus rarement vert.





**Figure 10 : Culture, Parties de plantes et graines de lentilles corail (BabaAissa,2000)**

La tige est divisée au 2ème nœud en 3 branches De couleur marron, une racine primaire (8,5 cm de long), de nombreuses racines secondaires (longueur 3-8cm).

Les feuilles de la lentille sont composées, même pennées à 2-8 paires de folioles. Les Folioles ovales ou linéaires, stipules semi-hastate ou lancéolées, entières.

une moyenne de 13 folioles dans une branche; folioles (longueur 16 mm) ovales, entières, apex avec 2 stipules lancéolées à 3 mm de longueur. Pédoncule plus court que la feuille, avec 1-4 fleurs.

Les Fleurs présentent 8 mm de long avec une couleur blanche de la corolle (6 mm de long), 5 sépales plus longs que la corolle avec des rayures violettes et 10 étamines.

La gousse de lentille est d'une couleur verte immature, plate , large avec une longueur de moyenne 18 mm et une largeur 8,5 mm.

Les graines de lentilles sont aplaties de 7,5 mm de diamètre très variées de couleur jaune Les cotylédons apparaissent de couleur jaune alors que les racines sont de couleur marron, une racine primaire (4,5 cm de long), de nombreuses racines secondaires longueur 1,5-10 cm).

La tige est de nature herbacée de 50 cm de long, de couleur vert clair, divisée au 1er nœud en 2 succursales.

Les variétés de *Lens esculenta* Moench, ssp. *microsperma* sont regroupés par **Barulina (1930)** en six groupes ou subdivisions morphologiques et géographiques (**Saint-Clair , 1972**).

#### **4.4. Variétés de lentilles**

La lentille cultivée, qu'on devrait théoriquement appeler Lentille nourrissante (*Lens esculenta*), est presque inconnue à l'état sauvage ; sa culture est répandue dans la plupart des pays méditerranéens, dans l'Abyssinie, les Indes, la Sibérie et jusque dans l'Amérique centrale et le Chili. Le point de culture le plus septentrional se trouverait en Norvège.

En **1861**, **Alefeld**, subdivisa *Lens esculenta* en 6 sous-espèces : *punctata*, *hypochloris*, *nigra*, *vulgaris*, *nummularia* et *abyssinica*.

En définitive, le nombre des espèces du genre *Lens* semble être de 5 e

- *Lens Lenticula* Alef. (1861). Plante des régions méditerranéennes.

## Chapitre IV : Lentille corail

---

- *Lens orientalis* Hand.-Mazz. (1913). Plante de l'Asie mineure et de l'Asie centrale.
- *Lens esculenta* Mœnch (1794). Plante cultivée.

En 1930, **Barulina** divise l'espèce *Lens esculenta* Mœnch, d'après la grosseur de la graine, en deux sous-espèces « macrosperma et microsperma :

- Les macrosperma : sont les Lentilles dont les graines ont plus de 6 mm. de diamètre, les fleurs plus de 7 mm. de longueur, les gousses plus de 15 mm. de longueur ;
- Microsperma : sont tous ceux qui sont au-dessous de ces chiffres.

Les macrosperma sont les Lentilles les plus recherchées ordinairement pour l'alimentation. H. Barulina les subdivise en 12 variétés. Les microsperma sont divisées par Barulina en 47 variétés, groupées en 6 races réparties comme suit :

- Subspontanée (3 variétés d'Afghanistan),
- Poilue (4 variétés des Indes),
- Ethiopienne (2 variétés d'Éthiopie),
- Asiatique (22 variétés d'Asie occidentale, d'Égypte et du Maroc)».
- Intermédiaire (9 variétés d'Asie Mineure surtout) et européenne (7 variétés qu'on trouve un peu partout, mais surtout en Europe) (**Carles, 1939**).

Enfin et selon la couleur, les lentilles sont réparties en plusieurs variétés:

- les **lentilles blondes** (variété la plus répandue au monde),
- les **lentilles vertes**,
- les **lentilles corail (lentilles rouges)**,
- les **lentilles brunes**, les **lentilles beluga (lentilles noires)** appelées « caviar des lentilles », « caviar végétal » ou encore « lentilles caviar »)
- et les **lentilles roses** (rosées).

### 4.5. Composition et valeur nutritionnelle de lentille corail

La lentille « corail » est petite (diamètre de 4 à 5 mm), de couleur orangée et vendue sous forme décortiquée. Ses graines sont généralement riches en protéines, en fibres alimentaires, en glucides complexes et en micronutriments essentiels tels que le fer, le zinc et le complexe de vitamines B (**Khazaei et al., 2017**) Ses graines ont également une activité antioxydante élevée par rapport aux autres espèces de légumineuses à grains principalement en raison de composés phénoliques spécifiques (**Grela et al., 2017**). **Tahir et al (2011)** n'ont rapporté que de petites différences entre les lentilles vertes et rouges pour la concentration en protéines.

## Chapitre IV : Lentille corail

Comme les graines de la plupart des légumineuses cultivées, les lentilles sont une riche source de protéines de haute qualité. Les graines de lentilles contiennent en moyenne environ 26 % de protéines brute. Les protéines de lentilles cultivées, comme celles des autres légumineuses à grains, sont riches en acides aminés endogènes (arginine, acides aspartique et glutamique et leucine). Le tableau 4 présente la composition biochimique du lentille corail :

**Tableau 4 : Composition biochimique du lentille corail (Ciquel,2017)**

Constituants	Une portion de 100g
Protéines	26.9 g
Lipides	0.6g
Glucides	51.7 g
Cendres	0.83 g
Energie	116 kCal
Eau	69.64 g
Fibresalimentaires	11.1 g
Acide alpha-linolénique (cis et/ou trans)	0.037 g
<b>Minéraux</b>	
Calcium	35mg
Fer	6,51 mg
Magnésium	47mg
Phosphore	180mg
Potassium	677mg
Zinc	3,27mg
<b>Vitamines</b>	
<u>Vitamine A</u> (Bêta-carotène)	23 µg
<u>Vitamine B1</u> (Thiamine)	0,873 mg
Vitamine B2 (Riboflavine)	0,211 mg
<u>Vitamine B9</u> (Folates)	479 µg
<u>Vitamine C</u> (Acideascorbique)	4,5 mg

## Chapitre IV : Lentille corail

---

### 4.6. Importance alimentaire

La lentille fait partie de l'alimentation humaine depuis la préhistoire. Considéré parmi les légumineuses ayant la plus petite taille, la lentille corail a l'avantage de nécessiter un temps de cuisson plus court que la majorité des légumineuses. On connaît mieux la lentille verte ou brune qu'on utilise parfois dans les soupes, mais elle reste aussi (parfois appelée lentille rouge), un peu plus petite.

Elle est comme toutes les autres variétés de lentilles est une source d'antioxydants et de zinc et riche en fibres et en fer. Elle est également riches en protéines végétales, en minéraux et oligo-éléments. Cet aliment ne contient pas de gluten. A ce titre, il convient aux personnes intolérantes au gluten, c'est à dire les malades cœliaques. Il convient également aux personnes qui présentent une sensibilité au gluten.

En plus, la lentille est parfaite pour les régimes sans gras car elle est pauvre en graisses. Grâce à son faible index glycémique, elle est recommandée en cas de diabète, dont elle pourrait même contribuer à la prévention.

La lentille est une légumineuse, l'associer à une céréale permet d'équilibrer les apports en protéines et en acides aminés essentiels. Les lentilles, après le soja, sont les légumineuses les plus riches en protéines.

En étant très nutritives, les graines de lentilles contiennent également des facteurs antinutritionnels tels que les inhibiteurs de protéase, les lectines ou phytohématagglutines qui causent des qui peuvent même traverser la barrière gastro-intestinale ; elles peuvent atteindre les liquides organiques et les tissus où elles pourraient exercer plusieurs fonctions physiopathologiques. Ces Facteurs antinutritionnel peuvent être minimisés selon par certain traitements tels que le chauffage, l'eau de trempage et la germination (**Aichouba et Hennine , 2018**). La lentille à côté d'autres légumes sec (Pois chiche, le Pois et la Fève) assure une fonction importante en corrigeant les carences en protéine animales inaccessibles à une large couche de la population Algériennes.

### 4.7. Production des lentilles

#### 4.7.1. Dans le monde

Si dans le passé, la consommation mondiale lentille connaissait une tendance lente à la baisse aussi bien dans les pays en voie de développement que dans les pays développés face à une consommation de blé, ou de riz ainsi que de produits laitiers et de viande en progression, ce n'est plus le cas aujourd'hui la tendance s'est inversée. Le déséquilibre est remarquée entre la demande et la production de légumineuses, poussée par la demande croissante de produits

## Chapitre IV : Lentille corail

protéiques d'origine végétale. Actuellement la culture de la lentille est très largement répandue à travers les régions du monde, après son introduction aux Amériques en Nouvelle Zélande et en Australie. Sa répartition est plus large dans les régions tempérées et subtropicales.

Le Canada est le plus grand producteur de lentilles au monde avec un volume de production de 3233800 tonnes par an suivi par la Turquie, l'Iran et l'Australie. Les principaux importateurs sont: l'Égypte, l'Algérie, la Colombie, la France, le Pakistan et l'Espagne. Dans le monde, 6.31536 tonnes de lentilles sont produites par an.

### 4.7.2. En Algérie

En Algérie, la lentille se trouve sous formes de variétés cultivées soit locales de mélanges variables ou d'origines Européenne. Parmi ces variétés, certaines ont été introduites et d'autres entre elles ont été sélectionnées en fonction de leur capacité d'adaptation aux différentes conditions agro climatiques (autochtones) (Amairia, Himoud et Lamri, 2020).

Les lentilles sont des mélanges variables de formes diverses, principalement à petites graines (rarement à grosses graines), à tégument fortement coloré et à cotylédons souvent orange (lentillons), très appréciées des Algériens.

La lentille tend à disparaître du paysage agricole, car très peu de surfaces restent emblavées avec cette culture, mais la région du Sersou (Tiaret) reste la principale région connue pour la culture de la lentille. Il faut signaler, cependant, que quelques variétés ont été sélectionnées dans les différentes zones agro climatiques : *fLenslenticula* (Schrob.) Alif. *fLensnigricans* (M.B.) Gogr, lentille noirâtre, *fLens esculenta* Moench., la lentille cultivée, *fLens Kotschigana* (Boiss.) Alif., *fLensorientalis* (Boiss.) Hans-Mazz.

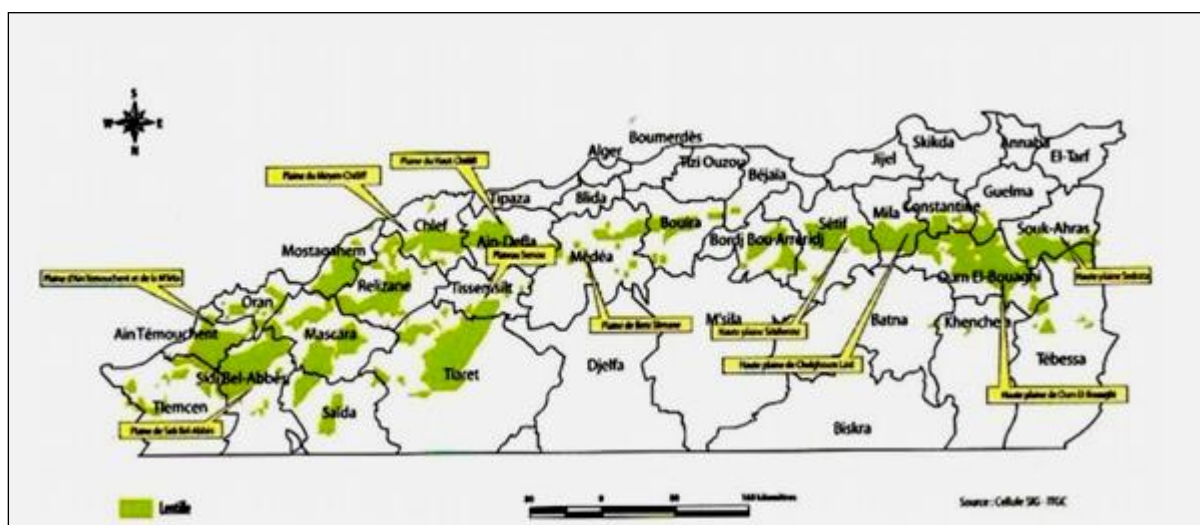


Figure 11 : Zones d'aptitude de la culture de la lentille en Algérie (Amairia, Himoud et Lamri, 2020)

## Chapitre IV : Lentille corail

---

L'Algérie est l'un des cinq premiers importateurs de lentilles dans le monde avec l'Égypte et la Colombie, la France, le Pakistan, et l'Espagne (**Chouaki, 2006**).

### 4.8. Supplémentation céréales-légumes secs

Les légumes secs entiers et les grains de céréales sont considérés comme des aliments de base qui fournissent une quantité importante de calories, de fibres et de protéines, ce qui en fait des sources alimentaires essentielles dans un régime alimentaire. De plus, les légumes secs et les céréales entières contiennent de nombreux composés bioactifs tels que des fibres alimentaires, de l'amidon résistant, des composés phénoliques et des acides gras mono-polyinsaturés qui sont connus pour lutter contre les maladies chroniques.

Des recherches récentes ont montré que les protéines dérivées de sources de légumineuses et de grains entiers contiennent des peptides bioactifs qui ont également des propriétés contre les maladies. Les mécanismes d'action comprennent l'inhibition ou l'altération des activités enzymatiques, la modulation du métabolisme des lipides et la réduction du microbiome intestinal et du stress oxydatif (**Hall et al., 2017**).

## **Partie II : Étude expérimentale**

# **Chapitre V :Matériel et méthodes**



### 5.1. Objectif du travail

L'objectif principal de notre étude est l'élaboration d'une pâte alimentaire à base de farine céréale le millet et de d'une légumineuse la lentille de corail destinée aux personnes intolérables au gluten, les maladies coéliquues.

### 5.2. Lieu de stage

L'étude expérimentale a été réalisée au niveau :

- ✚ Du laboratoire de l'Institut des Sciences et Techniques Appliquées « ISTA » de Blida.
- ✚ Du laboratoire d'analyse physico-chimique de l'Office algérien Interprofessionnel des Céréales « OAIC » de Chéraga (Alger).

Le choix de graines de la céréale du millet et de la légumineuse, la lentille de corail qui rentrent dans la formulation d'une pâte alimentaire sans gluten au gluten :

- Le millet peut être un substitut de blé par sa richesse en protéines, sans gluten et en fibres, la lentille de corail pour sa source en protéines végétales (acides aminés essentiels, en particulier une teneur élevée en lysine), en fibres et en fer .

Pour ce faire, notre étude expérimentale comporte quatre parties:

- ✚ Des analyses physico chimiques de la farine de millet et de la farine de lentille de corail.
- ✚ Préparation d'une pâte alimentaire à base de farine de millet et de lentille corail
- ✚ Des analyses physico chimiques des pâtes sans gluten.
- ✚ L'analyse pour chaque paramètre été répété trois fois.

### 5.3. Matériel

Le matériel analytique consacré aux analyses ainsi que les produits utilisés sont présentés

#### 5.3.1. Matières premières

##### 5.3.1.1. Farines

Dans notre étude, nous avons utilisé deux types de farines exemptes de gluten, la farine de millet et la farine de lentille corail.

## Chapitre V : Matériels et méthodes

- **Farine de millet**

Une quantité de 3 kg farine de millet préparée par Mme Kasdizahra de la chambre de l'artisanat et de métier de la wilaya de Médéa et acheté le 30 Février 2023.



Figure 12 : Sac de Farine de millet (500g)

- **Farine de lentille corail**

Une quantité de 2 kg de lentilles de corail sont de la marque Garrido produite par l'entreprise SOPI et achetés au niveau d'une alimentation générale.



Figure 13 : Sac de farine de lentille corail (1Kg)

- **Transformation lentille corail en farine**

- Triage des graines : Elles sont tout d'abord triées manuellement pour éliminer tous les impuretés et les différents déchets (grains endommagés)

- Les lentilles corail sont broyées dans un broyeur électrique (marque OCRIM) chez un vendeur d'épice.

- Tamisage: Les matières moulues obtenues par l'opération de broyage sont tamisées manuellement à travers un tamis d'ouverture de mailles 200µm. Deux fractions de produits sont obtenues:

- Le passant du tamis (<200µm) considéré comme farine.

## Chapitre V : Matériels et méthodes

➤ Le refus du tamis qui n'est pas utilisé.

- **Œufs**

Les œufs utilisés sont achetés au niveau d'une alimentation générale. Ils sont introduits dans la formulation sans gluten. La quantité nécessaire des œufs nécessaire à la formulation de la pâte sans gluten varie selon le type de la formulation (2 à 3 œufs).

- **Sel**

Le sel utilisé est un sel iodé produit par l'Entreprise Nationale Algérienne de sel (ENASEL).

### 5.3.1.2. Préparation de la pâte alimentaire sans gluten

En panification conventionnelle, l'ingrédient de base utilisé est la farine de blé en raison des propriétés uniques de ses protéines (gliadine et gluténine) pour former, lorsque elle est hydratée et en présence d'une force mécanique, une masse cohésive viscoélastique appelée réseau du gluten. Ce dernier possède une capacité exceptionnelle à former une pâte viscoélastique, tenace et extensible capable de piéger le gaz produit lors de la fermentation.

En revanche, en panification sans gluten qui se traduit par une absence du gluten au niveau des farines utilisées affecte significativement la rhéologie de la pâte, le processus de panification et la qualité finale du pain obtenu (**Ronda et al., 2017**).

Dans notre étude et Pour la préparation de d'une pâte sans alimentaire sans gluten pastifiable de type tagliatelle, plusieurs essais de pastification avec des différents pourcentages chacune de farine de millet et de lentille de corail sont effectués. Nous sommes arrêtés aux proportions présentés dans le tableau 5 :

**Tableau 5 : Taux d'incorporation des différents échantillons de farines**

Echantillon	Farine de millet (g)	Farine de lentille de corail (g)
<b>E1 : 50%FM+50%FLC</b>	<b>500</b>	<b>5 0 0</b>
<b>E2 : 70%FM+30%FLC</b>	<b>700</b>	<b>3 0 0</b>

**NB** :FM : Farine de millet.

FLC : Farine de lentille de corail.

## Chapitre V : Matériels et méthodes

Le mélange de farine de millet et de lentille corail à différents pourcentage avec la quantité d'œufs nécessaire à la pastification, du sel (2 à 3g) ainsi que de l'eau selon besoin.

La préparation de la pâte alimentaire est réalisée selon le diagramme suivant :

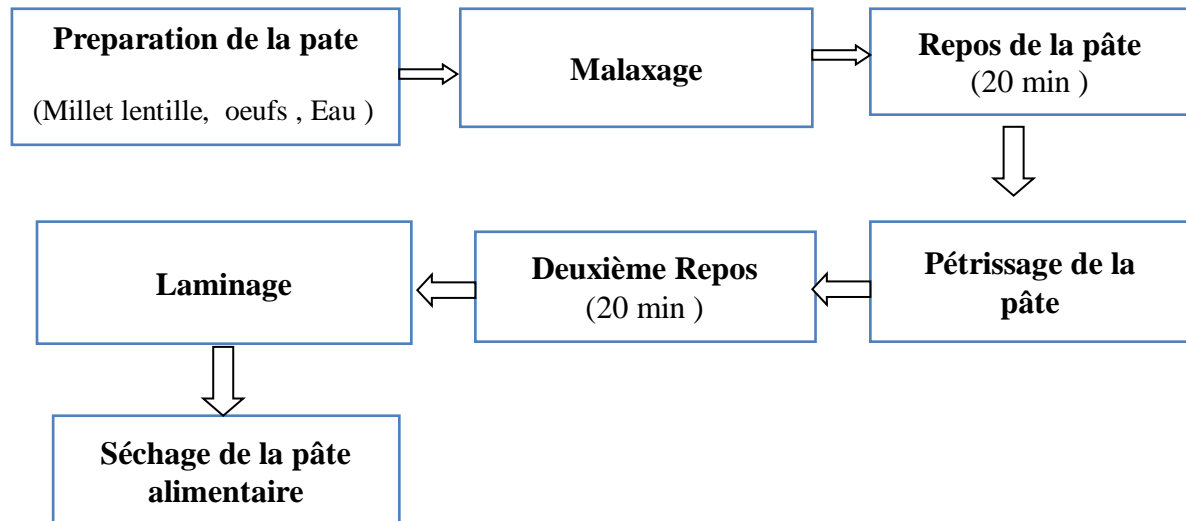


Figure 14 : Diagramme de fabrication d'une pâte alimentaire sans gluten (original)

### 5.4. Méthodes d'analyses

#### 5.4.1. Granulométrie

La granulométrie est une opération de classement des particules selon leurs tailles, par présentation sur des surfaces perforées. Ces derniers laissent passer des grains de dimensions inférieures aux dimensions des perforations tandis que les grains de dimensions supérieures sont retenus. Le but de la granulométrie est de déterminer l'homogénéité de l'échantillon (semoule ou couscous). Pour notre analyse, nous avons utilisé des tamis dont les ouvertures des mailles sont : Pour la semoule.

- **Détermination de taux d'affleurement (granulométrie) (NF V 03-721 de juin - Principe**

La granulométrie est déterminée par tamisage d'un échantillon de 100 grammes de semoule à travers une série de tamis dont les ouvertures des mailles sont par ordre décroissant: 525 $\mu$ m, 400 $\mu$ m, 300 $\mu$ m, 200 $\mu$ m, 150 $\mu$ m. Expression des résultats : Les refus obtenus sont pesés et les résultats sont exprimés en pourcentage.

- **Mode opératoire**
  - Peser 100g de l'échantillon.
  - Déposer la prise d'essai sur le tamis supérieur.

## Chapitre V : Matériels et méthodes

---

- Placer les tamis sur un appareil qui exerce des mouvements circulaires vibratoires uniforme pendant 10 min à une amplitude de 60.
- Peser le refus de chaque tamis.
  - **Expression des résultats**

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

$$\text{Taux d'affleurement (\%)} = \frac{M0}{M1} \times 100$$

M0 : masse du refus(g) .

M1 : masse de l'échantillon (g).



Figure 15 : Tamis pour granulométrie

### 5.4.2. Analyses physico-chimiques

#### 5.4.2.1. Taux d'humidité (N.A11322008/ISO712)

Le taux d'humidité ou teneur en eau est la perte de masse, exprimée en pourcentage, subie par le produit dans les conditions décrites dans la présente méthode.

- **Principe**

Le séchage du produit une température comprise entre 130C et 133C, avec une pression atmosphérique normale, après broyage éventuel du produit.

- **But**

La mesure de la teneur en eau à deux intérêts principaux :

- Analytique : elle permet de rapporter le résultat d'analyse à une base fixée, la matière sèche, ce qui permet la comparaison de différents échantillons.

- Technologique : pour la détermination et la conduite rationnelle des opérations de récolte, de stockage et de conditionnement de céréales de leurs transformation.

## Chapitre V : Matériels et méthodes

---

### ○ Mode opératoire

- Sécher les capsules avec leurs couvercles à l'étuve pendant 15 minutes à 130°C, puis laisser refroidir dans un dessiccateur jusqu'à la température ambiante.
- Peser 5g de l'échantillon dans une capsule tarée à 1mg près, adapter rapidement le couvercle.
- Introduire la capsule découverte contenant la prise d'essai et son couvercle dans l'étuve et le laisser séjourner pendant 2h.
- Retirer rapidement la capsule de l'étuve, la couvrir et peser la capsule à 1mg près.

### ○ Expression des résultats :

La teneur en eau exprimé en pourcentage en masse du produit tel quel est donnée par la formule suivante :

$$H \% = \frac{M1 - M2}{M1 - M0} \times 100$$

Avec :

M0 : est la masse, en grammes, de la capsule et de son couvercle.

M1 : est la masse, en grammes, de la capsule, du couvercle et de la prise d'essai avant séchage.

M2 : est la masse, en grammes, de la capsule, du couvercle et de la prise d'essai après séchage.

### 5.4.2.2. Taux de cendres (AFNOR N.F. V03-720 de décembre 1981)

Les cendres sont le résidu minéral incombustible obtenu après incinération (JORA 2013).

#### ○ Principe

Incinération d'une prise d'essai jusqu'à combustion complète des matières organiques puis pesée du résidu obtenu.

Le résidu obtenu est floconneux après incinération 550 C et vitrifié après incinération 900 C. De façon générale, les produits contenant des sels (chlorure de sodium, pyrophosphate par exemple) doivent être incinérés (550 – 10) C.

#### ○ Appareillage

- Placer les capsules dans un four à moufle réglé à 550°C pendant jusqu'à l'obtention d'une couleur grise, claire blanchâtre.
- Retirer les capsules du four et les mettre à refroidir dans le dessiccateur,

## Chapitre V : Matériels et méthodes

---

puis les peser M2

### ○ Expression des résultats

Le taux de cendres, en fraction massique par rapport à la matière sèche exprimé en pourcentage, est donné par l'équation :

$$TC = \frac{m2 - m1}{m1 - m0} \times 100 \times \frac{100}{100 - H}$$

TC % : la teneur en cendres.

m0 : la masse des capsules vides.

m1 : la masse des capsules + la prise d'essai.

m2 : la masse des capsules + cendres.

H% : taux d'humidité.

### 5.4.3. Analyses biochimiques

#### 5.4.3.1. Teneur en gluten (NF.1.1.24. ISO 5531)

Cette analyse nous renseigne sur la présence ou non du gluten dans notre produit d'étude, et surtout du complexe protéique insoluble dans l'eau salée, qui est constitué essentiellement de gliadine et de gluténine, il constitue de l'armature de la pâte et lui communique ses propriétés rhéologiques.

Pour connaître la teneur en gluten, on doit déterminer la teneur de gluten humide et gluten sec.

### ○ Principe

Le dosage du gluten repose sur son insolubilité dans l'eau et les solutions salines diluées, et sa propriété de s'agglomérer lorsqu'on le malaxe sous un courant d'eau qui entraîne les autres constituants.

### ○ Mode opératoire :

- Mélanger 25g de la farine de lentille ou de millet avec 12,5ml d'eau salée
- Pétrir le tout et laisser reposer 30 min pour que la pâte absorbe bien l'eau.
- Faire un lavage de la pâte obtenue et un malaxage jusqu'à ce que l'eau du lavage devienne transparente.
- Peser la pâte pour obtenir la teneur en gluten humide après avoir multiplié par 4.
- Mettre notre pâte dans une plaque chauffante pendant 10min.

## Chapitre V : Matériels et méthodes

---

- Peser la pâte après l'avoir sortie de la plaque chauffante, ceci donnera la teneur en gluten sec après avoir multiplié par 4.

- **Expression des résultats**

- **Gluten humide :**

**Teneur en gluten humide (%) :  $GH = m1 \times 4$**

m1 : masse du gluten humide (g).

- **Gluten sec :**

La teneur en gluten sec (%) :  $GS = m2 \times 4$

m2 : masse du gluten sec (g).

$$\text{Coefficient d'hydratation (\%)} = \frac{GH - GS}{GH} \times 100$$

### 5.4.3.2. Taux de protéines (Méthode Kjeldahl NA 1158,1990; ISO1871)

- **Principe**

La teneur en protéines est déterminée par la méthode de Kjeldahl après minéralisation de l'échantillon par l'acide sulfurique en présence de catalyseur, alcalinisation des produits de réaction, distillation de l'ammoniac libéré et titrage.

Le dosage comprend 4 étapes :

- une minéralisation de l'azote organique contenu dans la prise d'essai en sulfate d'ammonium sous l'action de l'acide sulfurique concentré à chaud, en présence d'un catalyseur approprié.
- alcalinisation des produits de la réaction par addition d'une quantité suffisante d'hydroxyde de sodium.
- distillation de l'ammoniac libéré et titrage.
- conversion du résultat en le multipliant par le facteur

- **Mode opératoire**

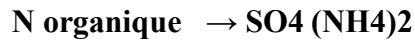
On pèse 1g de chaque produit ( millet , lentille , produit fini broyé ) et nous les introduisons dans un matras minéralisation. Nous ajoutons 2g de catalyseur puis 20 ml d'acide sulfurique concentré (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>). nous homogénéisons le contenu du tube et nous plaçons le matras dans un logement de plaque chauffante pendant une durée de trois heures jusqu'à l'impidité total de la solution.



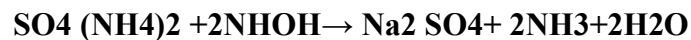
## Chapitre V : Matériels et méthodes

---

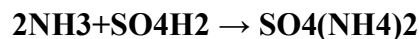
La minéralisation permet la transformation de l'azote organique en sulfate d'ammonium sous l'action de l'acide sulfurique concentré à chaud en présence de catalyseur.



Après refroidissement du matras, ajouter 75 ml d'eau distillée puis refroidir à nouveau 50 ml de solution d'hydroxyde de sodium à 33 % sont versés dans le matras, une fois l'appareil à distiller est prêt à fonctionner, au cours de la distillation, l'azote ammoniacal est entraîné par la vapeur d'eau et recueilli dans un erlen Meyer 150 ml contenant la solution d'acide borique et l'indicateur coloré.



Après environ 4 minutes de distillation, on constate un virage de la couleur rouge au bleu. Le titrage s'effectue à l'aide d'une solution sulfurique titrée N/ 10 contenue dans la solution distillée.



- **Expression des résultats :**

Teneur en azote exprimée en pourcentage en masse rapporté à la matière sèche

$$TA = \frac{100}{20} \times \frac{0.00149 \times V \times 100}{M}$$

Avec :

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

M : la masse en grammes de la prise d'essai.

- Teneur en protéines exprimée en pourcentage en masse rapporté à la matière sèche :

$$TP = 5.7 \times \frac{100}{100 - H} \times TA$$

Avec :

TA: teneur en azote, exprimée en pourcentages en masse du produit.

H: teneur en eau, exprimée en pourcentages en masse du produit.

5,7: coefficient.

### 5.5. Analyse sensorielle

L'analyse sensorielle est une technique qui permet de goûter les pâtes alimentaires ou tout produit alimentaire et d'en apprécier les qualités, les parfums et les arômes.

Dans notre étude, pour réaliser l'analyse sensorielle des pâtes alimentaires préparées à base de millet et de lentille corail, nous nous sommes basés sur les caractéristiques

## Chapitre V : Matériels et méthodes

---

organoleptiques suivantes ;Aspect , saveur , couleur, texture et appréciation globale ;Ce test est réalisé sur des pâtes cuites pour l'évaluation de ces propriétés organoleptiques.

Un jury de dégustateur est formé afin d'évaluer la qualité des pâtes produits traditionnellement. Ce jury est formé d'une vingtaine de personnes de différente catégorie d'âge et de sexe (femme et homme). Cette dégustation a eu lieu au niveau de la cité universitaire de filles de l'université de Blida 1.Ce jury repose sur 20 dégustateurs on demande de se prononcer sur Les dégustateurs ne doivent pas fumer avant et pendant la dégustation, ils ne doivent surtout pas avoir faim, ni soif, ni être malade, ni consommer des aliments à parfum fort (café) (**Haroun et al ., 2017**).

Une fiche d'évaluation sensorielle des pâtes alimentaires à base de farine de millet et farine de lentille corail est préparée et chaque dégustateur doit se prononcer en cochant dans la grille de la caractéristique de la pâte choisie.

# **Chapitre VI**

## **Résultats et discussions**

## Chapitre VI : Résultats et discussions

Ce chapitre présente les résultats d'analyses physico-chimiques et biochimiques obtenus et leurs interprétations.

### 6.1. Caractéristiques physico-chimiques des farines

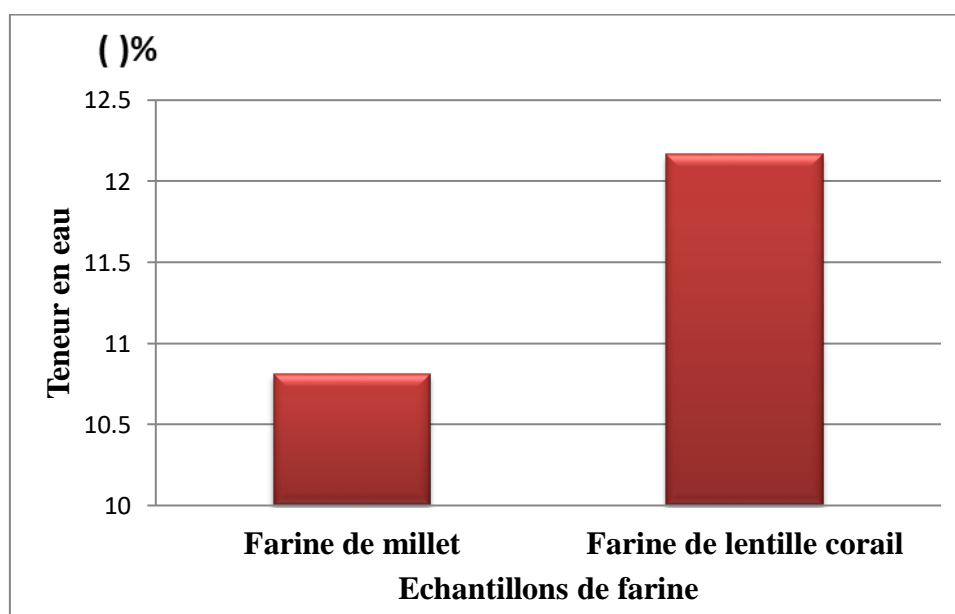
Les résultats des analyses physico-chimiques obtenus sont présentés dans le tableau 6:

**Tableau 6 : Résultats des analyses physico-chimiques**

Paramètres	Humidité (%)	Cendres (%)	Protéines (%)
Faine de millet	10,81±,04	0,686±0,004	13,348±0,001
Farine de lentille corail	12,165±0,01	0,764±0,003	27,95±0,01

#### 6.1.1. Teneur en eau

La teneur en eau est un facteur essentiel dans l'évolution des phénomènes biologiques, son contrôle dans les farines permet de minimiser le risque d'altération du conditionnement et du stockage (Feillet, 2000). La figure 15 montre la teneur moyenne en eau des deux farines étudiées :



**Figure 16 : Teneur en eaux des deux échantillons de farines**

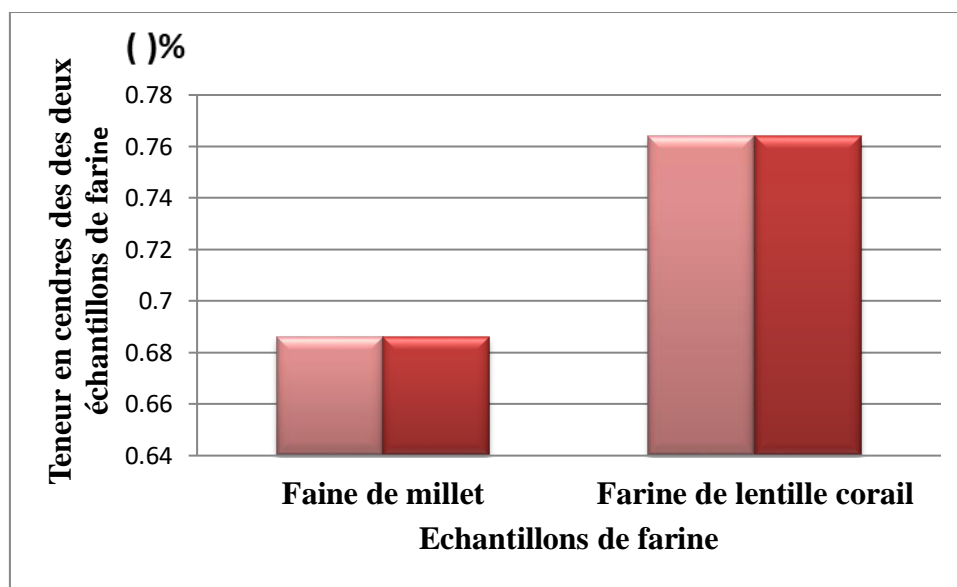
D'après les résultats représentés par la figure 16, on remarque que les valeurs des teneurs

## Chapitre VI : Résultats et discussions

en eau des farines étudiées varient entre 10,82 et 12,16 %. A partir de ces résultats, la teneur en eau est inférieure à celle de lentille de corail, et nettement également inférieure celle fixée par le codex STAN 170 -1989 (13,00 %) et celle donnée par **Abadina et al.** (2016).

### 6.2. Teneur en cendres des farines de millet et de lentille de corail

La figure 17 représente les teneurs en cendres des deux farines étudiées :



**Figure 17 : Teneur en cendres des deux échantillons de farines**

Les résultats représentent la teneur en cendres des deux farines de millet et de lentille de corail. Nous constatons que montre une autre fois que la lentille de corail présente une valeur de teneur en eau supérieur à celle du millet. Les deux farines de millets et de lentille de corail sont riches en minéraux avec une teneur de 0,69 et 0,76%. également inférieure celle fixée par le codex STAN 170 -1989.

Ce paramètre permet aussi de connaître la teneur globale en matière minérale des céréales et de leurs sous-produits (**Godon et al., 1991**). La teneur élevée en cendres serait probablement dû à la présence d'enveloppes connues pour leur richesse en minéraux dans la semoule après broyage.

Le taux de cendre est excessivement élevé dans la farine du millet par rapport à la norme de CODEX STAN 170-189 qui exige une fourchette de 0,8 0 1% ; mais il reste inférieur à la valeur trouvée par **Obadina et al., 2016**.

Selon **Abecassis (1993)**, le taux des cendres reste le moyen officiel utilisé pour caractériser la pureté des semoules. Farines La détermination de ce paramètre offre la possibilité de connaître la teneur en matière minérale globale des céréales et de leurs sous-produits (**GODON et al., 199**).

## Chapitre VI : Résultats et discussions

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

### 6.3. Teneur en protéines

La teneur en protéines des semoules exerce une influence considérable sur les propriétés viscoélastiques des pâtes et sur la qualité culinaire du produit fini (Petitot et al., 2010 ; Purnima et al., 2011). La figure 17montrees résultats obtenus pour la détermination de la teneur en protéines totales sont consignés dans les tableaux suivants :

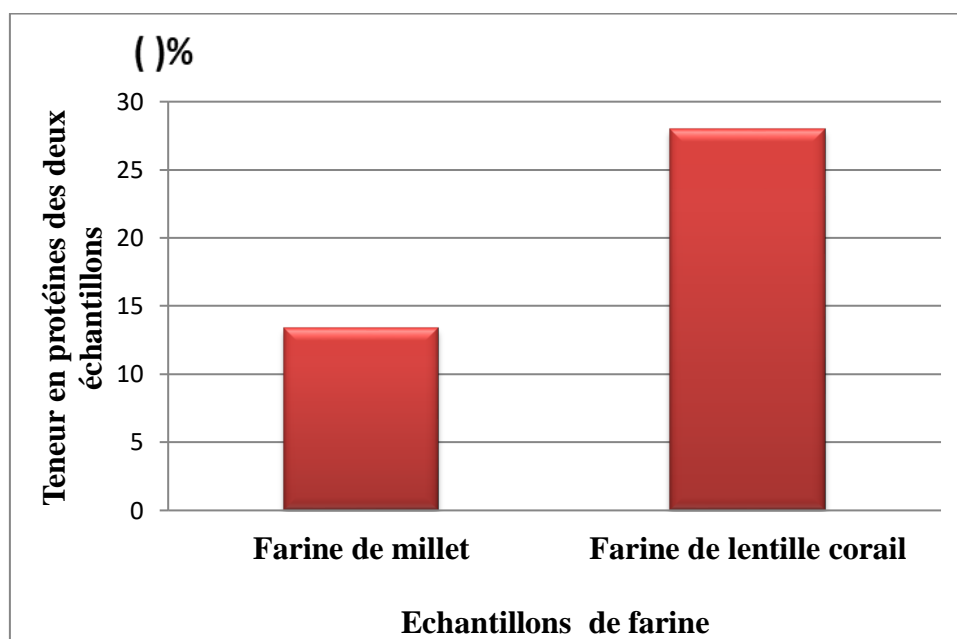


Figure 18 : Teneur en protéines des deux échantillons de farines étudiées

La figure n° 18 montre la valeur moyenne des protéines des deux farines étudiées se situe entre 13.34et 27,95 sur la base d'une matière sèche (AOAC ; 920.87) de la culture, elle joue un rôle important dans la qualité rhéologique des farines parce que c'est à partir de cette fraction que se forme le gluten, donc plus la teneur en protéines des grains est importante, plus la qualité des farines obtenues est meilleure (Melas et al,1993).

La fourchette de la teneur en cendres, selon le codex est de 0,8 à 1 % sur la base d'une matière sèche (Anonyme, 2020).il ressort qu'il existe une différence entre la composition la de la farine de lentille de corail et celle du millet.

## Chapitre VI : Résultats et discussions

### 6.4. Détermination de la teneur de gluten humide et sec

Afin de confirmer l'absence du gluten dans les farine de millet et de lentille de corail étudiées , nous avons réalise le test de détermination de la teneur du gluten .Les résultats obtenus montrent qu'il y'a eu une dissociation totale des farines dans la solution de chlorure de sodium. Les deux farines sont exemptes de gluten.

### 6.5. Analyse de la granulométrie

L'analyse granulométrique permet de caractériser la répartition en taille et en pourcentage des particules qui composent une semoule, notamment elle peut influencer la vitesse d'hydratation de la semoule, en effet, plus une semoule est fine, plus elle est riche en amidon endommagé, ce qui entraine une absorption élevée en eau, favorisant la formation de gros grumeaux nécessitant un recyclage (Sentor, 1983 et Matsuo, 1988).

**Tableau 7 : Granulométrie des farines utilisées dans la fabrication des pâtes alimentaires en gramme**

Fraction ( $\mu\text{m}$ )	Cumulées de millet	Cumulées de la farine de lentille corail
] 250- 500]	6,18g	16,71g
] 200 - 250]	65,65g	80,14g
] 150 - 200]	26,61g	2,05g
$\leq 150$	0,71g	0,29g

D'après les résultats illustrés dans le tableau 7, il ressort que la proportion des particules les plus importantes des échantillons étudiés se situe dans l'intervalle 200 [-250].

Les semoules utilisées dans l'essai de pastification se caractérisent toutes par une granulométrie comprise dans l'intervalle défini par **Abecassis (1993)** recommandée pour la fabrication des pâtes alimentaires dont la taille admise ne doit pas dépasser le seuil de 350  $\mu\text{m}$

Selon la FAO (1995), les semoules de blé dur utilisées dans la fabrication des pâtes alimentaires sont en général d'une granulométrie supérieure ou égale à 212  $\mu\text{m}$ .

C'est dans cette proportion que les fabricants souhaitent recevoir leurs produits de plus en plus fin ce qui permettrait d'augmenter le débit des presse, de réduire la durée de malaxage tout en produisant des produits plus homogènes, plus lisses, sans grosses piquûres apparentes ni points blancs, sans altération aucune ni pour la couleur ni pour la qualité culinaire (**Abecassis, 1991**)

## Chapitre VI : Résultats et discussions

Cette granulométrie fine permettrait d'augmenter le débit des presse, de réduire la durée de malaxage tout en produisant des produits plus homogènes, plus lisses, sans grosses piqûres apparentes ni points blancs, sans aucune altération ni pour la couleur ni pour la qualité culinaire. Dans ce travail, la fraction granulométrique utilisée est  $\geq 200 \mu\text{m}$ .

### 6.6. Analyses physico-chimiques des pâtes alimentaires

#### 6.6.1. Teneur en eau

La teneur en eau des deux types de pâtes préparés est représentée dans la figure 18:

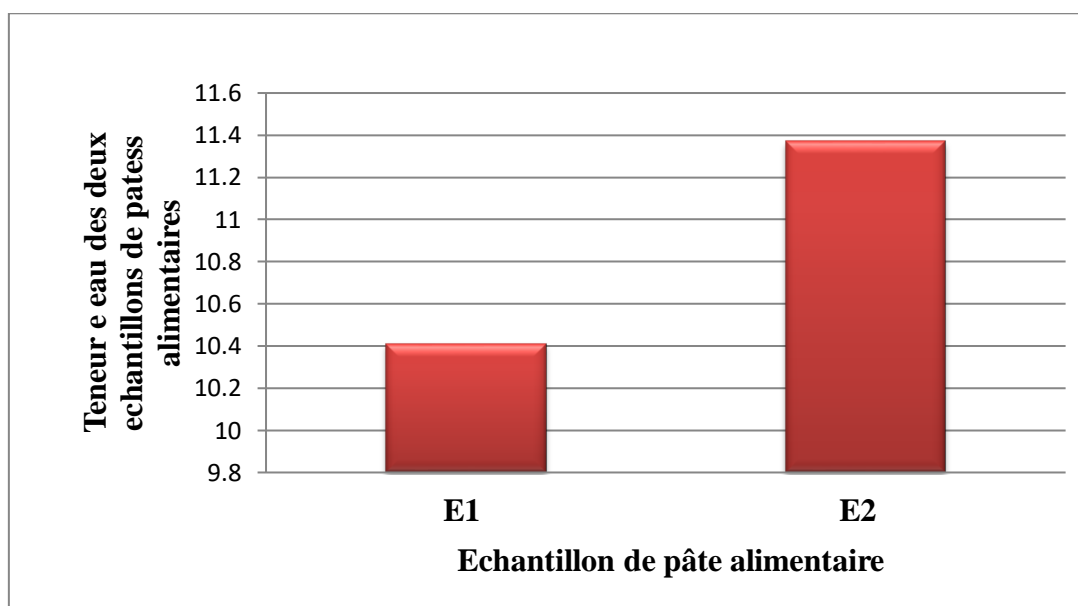


Figure 19: Teneur en eaux des deux échantillons de pâtes

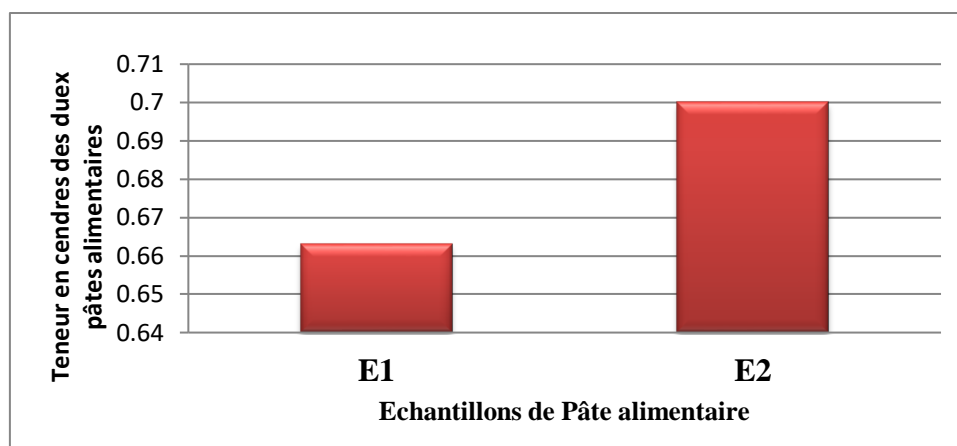
Les teneurs en eau des deux pâtes alimentaires montrent que la pâte qui est préparée à partir de 50% des deux farines montre une teneur en eau plus faible que celle où la farine du millet est mélangée à 70%. Les cendres contenues dans l'E2 sont supérieures à celles de l'échantillon 2.

#### 6.6.2. Taux de cendres

La teneur en cendre des pâtes alimentaires préparées sont représentées par la figure 19 :



## Chapitre VI : Résultats et discussions

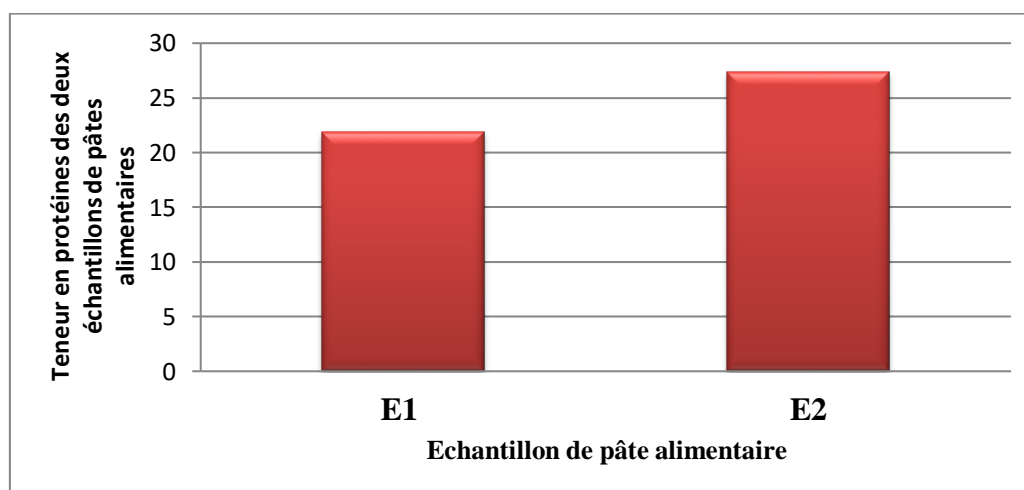


**Figure 20 : Teneur en cendres des deux échantillons de pâtes**

Les résultats de la teneur en cendres des deux types de pâtes alimentaires fabriquées à partir de deux mélanges à pourcentage différents en farine de millet et de lentille corail est située entre 0,66 et 0,70%. On peut dire que l'ajout d'un pourcentage plus élevée de farine de millet n'a pas trop varié la teneur en cendres de la pâte alimentaire. Les pâtes alimentaires à base de millet contiennent plus de matière minérale que leur homologue à part des deux farines. Une augmentation progressive de la teneur en cendres est notée avec l'augmentation du taux d'incorporation de la farine de millet.

### 6.6.3. Teneur en protéines

La teneur en protéines des deux échantillons est illustrée par la figure 20 :



**Figure 21 : Teneur en protéines des deux échantillons de pâtes**

D'après les résultats de la figure, on déduit que : La teneur en protéines augmente avec l'augmentation du taux d'incorporation de la farine de millet. Elle varie de 21,91 à 27,35 %.

## Chapitre VI : Résultats et discussions

Il est possible de faire une pâte à pâtes à base de farine millet et de lentille et d'eau, à cette pâte s'ajoute généralement des œufs. Les protéines d'œufs remplissent la même fonction que les brins de gluten. Le millet est une culture alternative prometteuse avec une haute résistance à la chaleur et l'avantage supplémentaire d'être sans gluten.

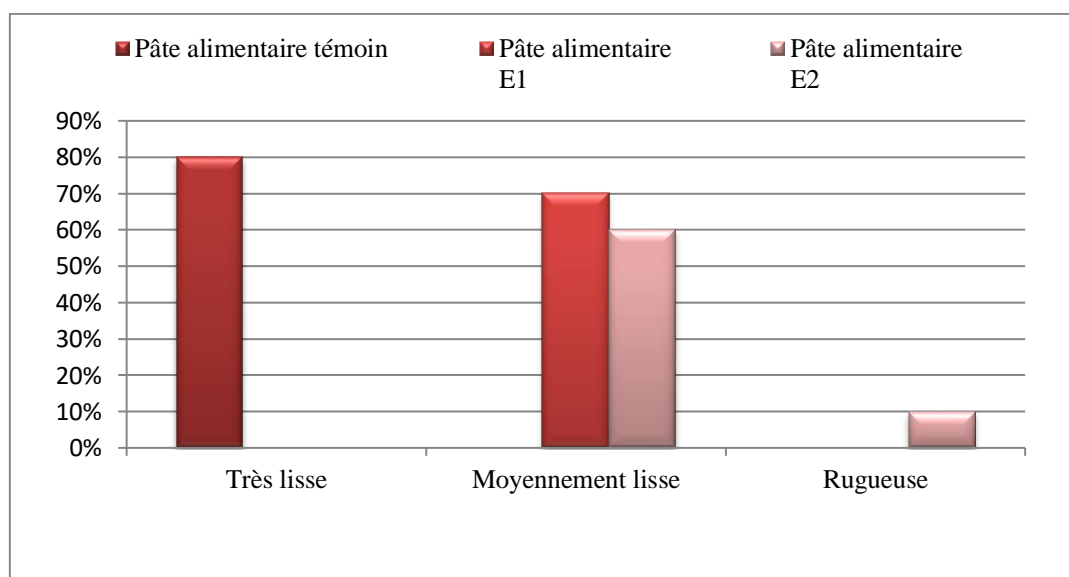
### 6.7. Evaluation sensorielle

L'évaluation des paramètres organoleptiques est une condition très importante pour déterminer l'acceptabilité du consommateur surtout sur le plan sensoriel. Cinq critères ont été déterminés : Aspect, saveur, couleur, texture et appréciation globale.

L'étude statistique des effets du mélange de farine de millet et de lentille de corail sur les critères organoleptiques sont exprimés en pourcentages qui sont présentés selon les résultats suivants :

#### 6.7.1. Aspect

La figure 22 montre les résultats obtenus par l'appréciation des dégustateurs de la texture des deux échantillons de pâtes alimentaires :



**Figure 22 : Appréciation de l'aspect des pâtes alimentaires préparées**

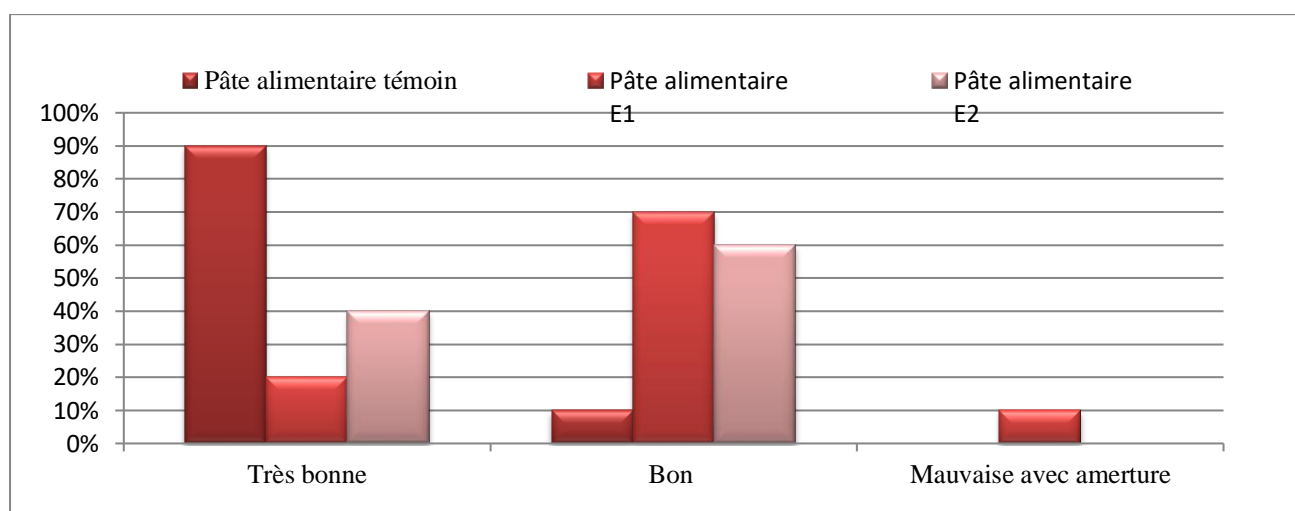
D'après résultats prononcés par les dégustateurs, 80% ont signalés que la pâte alimentaire témoin est lisse, cette dernière est constituée à 100% de farine ordinaire, alors que seulement 70 % trouvent que celle fabriquée de 50 – 50 % des deux farines est moyennement lisse pour l'échantillon E1 ainsi que pour l'échantillon E2.

## Chapitre VI : Résultats et discussions

L'incorporation des différents pourcentages des deux farines dans la formulation des deux pâtes alimentaires change l'aspect de la pâte de l'échantillon 2 et devient rugueuse à un pourcentage élevé de farine de lentille de corail.

### 6.7.2. Saveur

Les résultats obtenus par l'appréciation des dégustateurs de la texture des deux échantillons de pâtes alimentaires consignés par la figure 23:



**Figure 23 : Appréciation de la saveur des pâtes alimentaires préparées**

La pâte alimentaire préparée à base de farine ordinaire est très bonne pour 90% des dégustateurs, alors que seulement 70 % trouvent que l'échantillon E1 est de bonne saveur par rapport à l'échantillon E2 qui a une bonne saveur avec un peu de goût amertume.

### 6.7.3. Couleur

La couleur est un paramètre très important dans l'acceptabilité des pâtes alimentaires. Les résultats du test de couleur des pâtes alimentaires étudiées sont représentés par la figure 24:

Le jury de dégustation trouve que

## Chapitre VI : Résultats et discussions

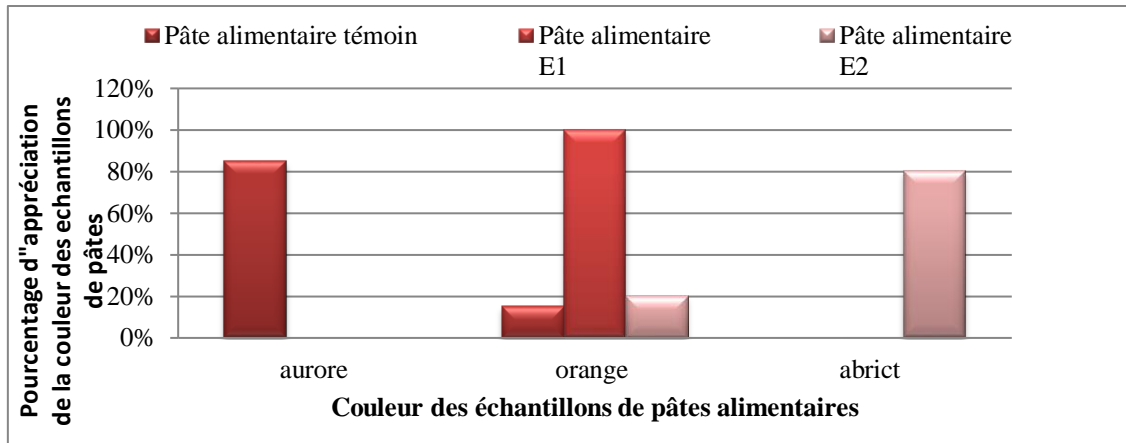


Figure 24 : Test de couleur des pâtes alimentaires

L'échantillon témoin est de couleur aurore de (80%) et pour les autres pâtes alimentaires E1 est à 100% de couleur orange et pour la pâte de E2 est à 80% de couleur abricot.

### 6.7.3. Tendreté

Les résultats du test de tendreté des pâtes alimentaires étudiées sont représentés par la figure 25:

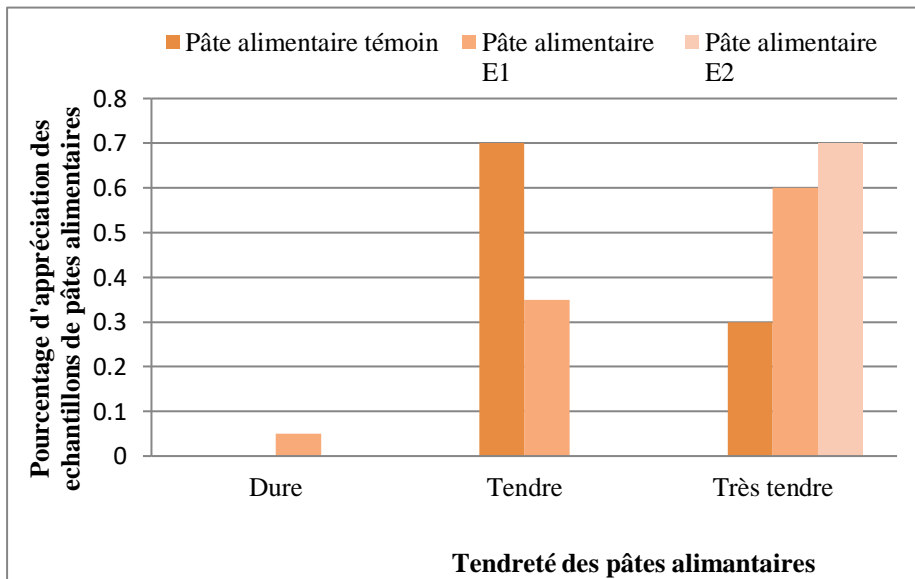
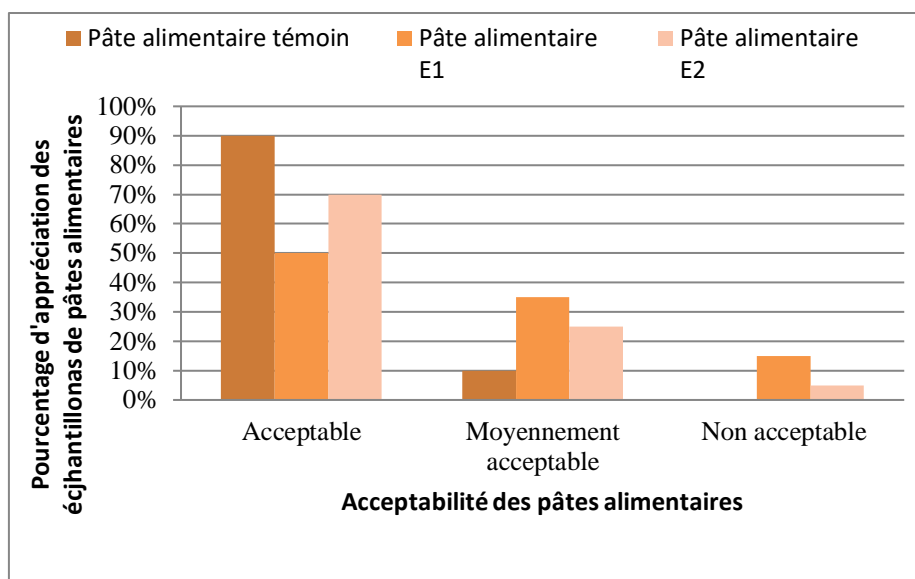


Figure 25 : Tendreté des différents échantillons des pâtes alimentaires

### 6.7.4. Acceptabilité

Les résultats de la comparaison entre les trois types d'échantillons de pâtes sont représentés par la figure 26 :

## Chapitre VI : Résultats et discussions



**Figure 26 : Appréciation générale des différents échantillons des pâtes alimentaires**

Les résultats de la dégustation des jury ont montré que 90% des pâtes avec farines ordinaires sont acceptables. Les pâtes incorporées à 50% de farine millet et de lentilles corail à 50 % acceptables, 25 % sont moyennement acceptées et 15% seulement ont répondu non acceptables pour l'échantillon E1.

Pour les pâtes de l'échantillon sont à 70 % acceptable, 25 % sont moyennement acceptable et 15% non acceptable.

Les pâtes de l'échantillon sont meilleures et mieux acceptées chez les dégustateurs que celles de l'échantillon 2.

## **Conclusion et perspectives**

## Conclusion et perspectives

---

L'objectif de ce travail s'articule autour de la formulation d'une pâte alimentaire sans gluten à base de farine de millet et enrichie par la farine de lentille de corail. Elle est destinée aux personnes intolérables au gluten et aux maladies cœliaques.

Dans une première étape, nous avons réalisé des analyses physico-chimiques et biochimiques des farines utilisées, et les résultats sont conformes à la norme en vigueur.

Par la suite, nous avons procédé à la préparation de la pâte alimentaire sans gluten. Cette dernière a nécessité plusieurs essais, pour la réussir. La préparation des pâtes avec les pourcentages de mélanges des farines de millet et lentille de corail (50-50%) et de (70-30%) est satisfaisante. Ces pâtes alimentaires sans gluten et en mélange avec une quantité d'œufs et d'eau sont possibles à préparer.

Il est à signaler que les conditions de la préparation de ces deux pâtes alimentaires est à l'échelle traditionnelle.

Les conditions de préparation de ces deux pâtes alimentaires sont à respecter pour éviter toute contamination ultérieure.

Des analyses expérimentales effectuées sur les farines utilisées dans notre étude nous ont permis de déterminer une granulométrie homogène. La teneur en protéines dans l'échantillon de mélange E2 de la pâte alimentaire sans gluten est supérieure à celle de l'échantillon E2 (11 - 15 %). L'absence du gluten est confirmée dans la composition des deux pâtes alimentaires.

D'un autre côté, nous avons essayé de faire une évaluation des caractères organoleptiques des pâtes sans gluten préparées auprès d'un jury de dégustation. Ce dernier a émis des résultats différents en comparaison avec un témoin à base de semoule ordinaire.

La qualité de pâtes alimentaires préparées uniquement à base d'une céréale et d'une légumineuse a permis de prononcer d'un aspect moyennement lisse, de saveur moyenne, de couleur orange, de texture dure et d'appréciation moyennement acceptable.

Comme perspectives à proposer, il est souhaitable d'approfondir cette étude en effectuant les investigations suivantes :

- Encourager la production du millet sur le territoire national ;
- Réaliser des analyses physico - chimiques et technologiques plus poussées sur la qualité nutritionnelle des deux farines ;
- Tester divers améliorants pour une meilleure rhéologie de pâte de farines mixtes ;
- Connaître le degré d'acceptabilité des pâtes alimentaires à base de farines alternatives par le consommateur algérien.

## **Références bibliographiques**



## Références bibliographiques

---

1. aebi, r., knapp, s., & hiltbrunner, j. (2014). régulation mécanique de la flore adventice du millet. recherche agronomique suisse, 5(4), 158-161.
2. amairia widad himoud ilhem lamri djouhaina2020. effet du traitement salin sur la germination, la croissance et sur la nodulation de la lentille (*lens culinaris medik*). mémoire de master . université 8 mai 1945 guelma
3. andrews d.j., kumaraka., 1992. pearl mill et for food, feed and forage. advances in agronomy, 48 : 89-1 39 .
4. association (aga). institute technical review on the diagnosis and management of celiac disease. gastroenterology, 131 (6): 1981-2002.
5. barulna , h. lentils of u.s.s.r. and other countries; a botanico-agronomical monograph. tudy prikl. bot. genet. selek. (bull. appl. bot. genet. pi. breed suppl. 40, leningrad, 265-319(1930).
6. benteboula imen, s. c. (2017). fabrication de pâte alimentaire enrichie en farine de pois chiche et de fève .mémoire de master. université 8 mai 1945 guelma .p57.
7. benteboula imen, s. c. (2017). fabrication de pâte alimentaire enrichie en farine de pois chiche et de fève. mémoire de master .université 8 mai 1945 guelma.p57.
8. bezañçon, g., renno, j. f., & kumar, k. a. (1999). le mil. diversité génétique des plantes tropicales cultivées. cirad, montpellier, 309.
9. boettcher e, crowe se. dietary proteins and functional gastrointestinal disorders. am j gastroenterol 2013;108:728-36.
10. bousquet j, metcalfe dd, warner jo. food allergy. position paper of the codex alimentarius. aci international 1997;9:10-21.
11. bresciani, a., pagani, m. a., & marti, a. (2022). pasta-making process: a narrative review on the relation between process variables and pasta quality. foods, 11(3), 256.
12. burks aw, tang m, sicherer s, .icon : food allergy. j allergy clin immunol 2012;129:906-20
13. carles j. les lentilles. in: bulletin mensuel de la société linnéenne de lyon, 8<sup>e</sup> année, n<sup>o</sup>6, juin 1939. pp. 146-153.
14. chouaki, 2006.deuxième rapport national sur l'état des ressources phytogénétiques salah .institut national de la recherche agronomique d'algerie organisation des nations unies pour l'alimentation et l'agriculture
15. cianferoni a. non-ige mediated food allergy. cpr. 1 juill 2020;16(2):95)-105.coeliaque. microbiol alimentaire. 2007 ; 24 :187–196. [ pubmed ] [ google scholar ]
16. etude du potentiel technologique du seigle : aptitude a la panification (Hamimid Fethia Bouchera et al .2020)
17. gastroenterol hepatol. 2012 ; 9 : 295–299. [ pubmed ] [ google scholar ]

## Références bibliographiques

---

18. gibert a, espadaler m, angel canela m, sánchez a, vaqué c, rafecas m. consommation de produits sans gluten : la valeur seuil pour les traces de gluten doit être de 20, 100 ou 200 ppm eur j gastroenterol hepatol . 2006 ; 18 :1187–1195. [ pubmed ] [ google scholar ]
19. gobbetti m, rizzello cg, di cagno r, de angelis m. sordough lactobacilles et maladie
20. grela, e.r.; kiczorowska, b.; samolińska, w.; matras, j.; kiczorowski, p.; rybiński, w.; hanczakowska, e. chemical composition of leguminous: part i—content of basic nutrients, amino acids, phytochemical compounds and antioxidant activity. eur. food res. technol. 2017, 243, 1385–1395. [google scholar] [crossref]
21. hamadou, m., idrissa, s., mahamadou, c., oumarou, s., & valentin, k. (2017). potentialités fourragères du mil (*pennisetum glaucum* (l.) r. br): revue de littérature. journal of animal & plant sciences, 34(2), 5424-5447.
22. inonata n. allergie au blé. cur opin aller clin immunol. 2009 ; 9 : 238–243. [ pubmed ] [google scholar ]
23. journal of food science, 74(6), 263-267p.
24. karima laleg, denis cassan, cecile barron, sylvie cordelle, pascal schlich, et al.. qualités culinaires, sensorielles et nutritionnelles des pâtes alimentaires sans gluten à base de légumineuses. 1. rencontres francophones sur les légumineuses (rf1), may 2016, dijon, france. , 2016.
25. khazaei, h.; caron, c.t.; podder, r.; kundu, s.s.; diapari, m.; vandenbergh, a.; bett, k.e. marker-trait association analysis of iron and zinc concentrations in lentils (*lens culinaris* medik.)
26. l. a. (2009). pastawithunripe banana flour: physical, texture, and preference study.
27. lackner et coll. (2019) histamine-reduced diet and increase of serum diamine oxidase correlating to diet compliance in histamine intolerance. eur j clin nutr; 73(1):102-104 .
28. lawrence, g. h. m. taxonomy of vascular plants. 1st ed. new york, mac millan, p. 545 (1966).
29. loumerem, m. (2004). étude de la variabilité des populations de mil (*pennisetum glaucum* (l.) r. br.) cultivées dans les régions arides tunisiennes et sélection de variétés plus performantes. ghent university.
30. ludvigsson jf, leffler da, bai jc, biagi f, fasano a, green phr, et al. the oslo definitions for coeliac disease and related terms. gut. 1 janv 2013;62(1):43-52.
31. mechri meryem, b. n. (2019). influence des semoules fines sur la qualité finale des pâtes alimentaires: cas de «rechta». mémoire de master. université 8 mai 1945 guelma

## Références bibliographiques

---

32. morin, s. (2012). influence de la présence et de la composition du microbiote intestinal sur le développement et la prévention des allergies alimentaires (doctoral dissertation, université rené descartes-paris v).
33. nowak\_wegrzyn « food allergy and the gut » nat rev gastro enterol hepatol 2017 apr ;14(4) :241-257
34. olivier ce (2013) food allergy. j aller ther s3:004. doi : 10.4172/2155-6121.s3-004.
35. pahwa a, kaur a, puri r (2016) influence of hydrocolloidson the quality of major fat breads: areview. j food process. doi:10.1155/2016/8750258
36. paveley.w.f.,from aretaeus to crosby: a history of coeliac disease. bmj, 1988. 297(6664): p. 1646-9.
37. pellegrini, n., & agostoni, c. (2015). nutritional aspects of gluten-free products. journal of the science of food and agriculture, 95(12), 2380-2385
38. philipott h « allergy tests do not predict food triggers in adult patients with eosinophilic oesophagitis. a comprehensive prospective study using five modalities » aliment pharmacolther 2016 aug ;44(3) :223-33.
39. plunkett ch « the influence of the microbiome on allergic sensitization to food » j immunol 2017 jan 15 ;198(2) :581-589.
40. rahal-bouziane, h. (2008). evaluation de la variabilité génétique chez quelques mils penicillaires (pennisetum glaucum lr br) cultivés dans les oasis de la région d'adrar (algérie). journal algérien des régions arides, revue scientifique annuelle, (7), 35-43.
41. rahal-bouziane, h. (2016). quelques cultures stratégiques pour l'algérie face aux changements climatiques: l'orge (hordeum vulgare l.) et le mil (pennisetum glaucum (l.) r. br). algerian journal of arid environment, 6(1), 15-31
42. ricci g, andreozi l, cipriani f, giannetti a, gallucci m, caffarelli c. wheat allergy in children: a comprehensive update. medicina (kaunas) [internet]. 23 juill 2019[cité5nov2020];55(7).
43. rostom a., murray j.a. et kagnoff m.f. (2006). american gastroenterological
44. saint-clair, p. m. (1972). responses of lens esculenta moench to controlled environmental factors. wageningen university and research.
45. san mauro martin, brachero et garicano vilar (2016) histamine intolerance and dietary management: a complete review. allergol immunopathol (madr); 44(5):475-483
46. sapone a, bai jc, ciacci c, .spectrum of gluten-related disorders : consensus on new nomenclature and classification. bmc med 2012;10:13
47. sapone a, bai jc, ciacci c, dolinsek j, green ph, hadijvassiliou m, et al. spectre des schmitz j. et garnier-lengline h. (2008). diagnostic de la maladie cœliaque en 2008. archives de

## Références bibliographiques

---

pédiatrie, 15 : 456-461.

48.seeds. plant genome. 2017, 10, 1–8.

49.serena niro, annacristina d'agostino, alessandra fratianni, luciano cinquanta, gianfranco panfili ; gluten free alternative grains : nutritional evaluation and bioactive compounds ; foods. 2019 jun 12;8(6):208.

50.tahir, m.; lindeboom, n.; bąga, m.; vandenbergh, a.; chibbar, r.n. composition and correlation between major seed constituents in selected lentil (*lens culinaris medik*). can. j. plant sci. 2011, 91, 825–835.

51. troubles liés au gluten : consensus sur une nouvelle nomenclature et classification. bmc med.2012 ; 10h13.

52. vavilov, n. i. 1950. the origin, variation, immunity and breeding of cultivated plants. chron. bot. 13:1-366. (translated by k star chester).

53. vietmeyer n.d. 1996. lost crops of africa. national academy press washington, d.c. volume 1, grains: 329pp.

54. volta u, de giorgio r. nouvelle compréhension de la sensibilité au gluten. nat rev

55. volta u, villanacci v. maladie cœliaque : critères diagnostiques en cours. cellule mol

56. wagner, m., della valle, g., abecassis, j. o. e. l., buleon, a., lourdin, d., morel, m. h., & cuq, b. (2009, november). détermination des propriétés rhéologiques de pâtes alimentaires en cours de cuisson. in poster. actes du 44eme colloque du groupe français de rhéologie, strasbourg (pp. 4-6).

57. wilson, v. e., & law, a. g. (1972). natural crossing in *lens esculenta moench*l. journal of the american society for horticultural science, 97(1), 142-143.

58.young e, stoneham md, petruckevitch a, et al. a population study of food intolerance. lancet 1994;343:1127-30.

59.zemmouchi ryma, k. s. a. (2016). valorisation du lactosérum: incorporation dans des pâtes alimentaires. mémoire de master. université 8 mai 1945 guelma

## Sites

1. [Allergie et intolérance alimentaire chez l'adulte – FMC-HGE \(fmcgastro.org\)](#) consulté le 26/07/2023
2. [Allergie ou intolérance alimentaire ? \(revmed.ch\)](#) consulté le 26/07/2023
3. <https://cuisinenaturelle.com/20-pates-sans-gluten-comparatif-et-classement/immunol>. 2011 ; 8 : 96–102. [ article pmc gratuit ] [ pubmed ] [ google scholar ]
4. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC6681225/>
5. [Maladie coeliaque - La chimie du Gluten](#) consulté le 26/07/2023
6. [Millet types and sorghum varieties selected. \(a\) Millet types. \(b\)... | Download Scientific](#)

## Références bibliographiques

---

[Diagram \(researchgate.net\)](#) consulté le 26/07/2023

7. [Plante de mil avec plusieurs talles | Download Scientific Diagram \(researchgate.net\)](#) consulté le 26/07/2023

8. [Situation de la culture de la lentille et son importance en Algérie - Agronomie](#) consulté le 26/07/2023

9. [Synthétiser 21 articles sur le sujet : intolérance alimentaire que faire \[récemment mis à jour\] - france.damri.edu.vn](#) consulté le 26/07/2023