

FACULTÉ DES SCIENCES

DEPARTEMENT DES SCIENCES AGRONOMIQUES

Numéro de série :.....

Numéro d'inscription :.....

Thèse

Présentée pour l'obtention du diplôme de

DOCTORAT EN SCIENCES AGRONOMIQUES

THÈME

**Etude de la composition biochimique et valorisation de
certaines variétés de céréales et de légumineuses locales**

Présenté par

Mme AMMOUCHE ZAHIA

Soutenue le:

Devant le jury composé de:

Nom et Prénom	Grade	Etablissement	Qualité
BAA Abdelhamid	Maitre de conférences A	Université de M'Sila	Président
MAHDI Khadidja	Professeur	Université de Bouira	Directeur de thèse
MIMECHE Fateh	Professeur	Université de M'Sila	CO-Directeur de thèse
BIR Abdenour	Maitre de conférences A	Université de Sétif 1	Examineur
LAABASSI Ayache	Maitre de conférences A	Université Batna 2	Examineur

Année universitaire: 2024/2025

Remerciements

Avant toute chose, je remercie Dieu, le tout puissant, miséricordieux et clément, pour m'avoir donné santé, patience, volonté et courage afin de terminer ce travail; Al-Hamdu li Allah.

Il m'est agréable d'exprimer ma reconnaissance à toutes les personnes qui, à titres divers m'ont apportées leur aide pour mener à bien ce travail.

Je tiens à remercier profondément Madame MAHDI K. professeur et enseignante à la faculté des sciences de la nature et de la vie et des sciences de la terre de l'université de Bouira pour avoir accepté d'être le directeur de thèse et d'encadrer ce travail.

J'exprime ma profonde gratitude à Monsieur Mime3che F. professeur, à l'université de M'sila pour avoir aimablement accepté de diriger ce travail en tant que co-directeur de thèse, pour ces orientations et ces conseils en dépit de l'éloignement.

Mes remerciements vont aussi à Monsieur BAA A. maitre de conférences A, de l'université de M'sila, qui m'a fait l'honneur de présider le jury. Qu'il trouve ici ma haute considération.

Je remercie vivement Monsieur BIR A. maitre de conférences A, de l'université de Sétif et Monsieur LAABASSI A. maitre de conférences A, de l'université de Batna, pour avoir accepté de juger ce travail et de participer au jury.

Je remercie du fond du cœur ma chère amie et ma collègue du long parcours, Madame Agrane S. pour tout le soutien et l'encouragement qu'elle m'a apportée pendant la préparation de cette thèse. Sa disponibilité, ses précieux conseils et sa bienveillance ont été essentiels pour que je puisse avancer et terminer ce travail.

Je tiens à remercier tous ceux qui ont contribué à la réalisation de ce travail, en particulier: Mmes Makaci N et Ferradji R, de laboratoire des sciences de la nature et de la vie de l'Université de Bouira, Madame Hamani S. et Monsieur Ammouche A. de laboratoire de chimie du département des sciences technologiques de l'Université de Bouira, ainsi que le personnel de laboratoire de l'entreprise agro-alimentaire SARLMOLINO GRANI, spécialisé en production de la semoule et de la farine LARA, situé dans la zone industrielle de TAHARACHET, Akbou, Bejaia.

Je ne peux omettre d'exprimer ma vive gratitude et ma plus grande reconnaissance à mes collègues et amies: Madame Arab H, et Mademoiselle Grine S pour leur compréhension, disponibilité et leur aide très précieuse malgré les contraintes personnelles.

Je tiens également à remercier sincèrement et du fond du cœur tous le personnel administratif et pédagogique de l'Université de M'sila pour nous avoir accueilli, moi et Madame Agrane et nous avoir ouvert toutes les portes afin d'accomplir ce travail particulièrement, Monsieur Ouali A , Monsieur Ben sassi T, Monsieur Mimeche F, Monsieur Cherief A, et Madame Boutera N, qu'ils trouvent ici notre profonde gratitude.

Enfin très nombreuses sont les personnes de près ou de loin qui ont participé à la réalisation de ce modeste travail. Tout en m'excusant de ne pas tous les citer, je leur exprime mes remerciements les plus sincères.

Table des matières

I Listes des abréviations.....	I
II Listes des figures.....	II
III Listes des tableaux	III
Introduction.....	1
Chapitre I: Synthèse bibliographique	
I.1 Légumes secs.....	4
I.1.1 Généralités.....	4
I.1.2 Production de légumineuses	4
I.1.2.1 Production mondiale.....	4
I.1.2.2 Production nationale.....	6
I.1.3 Importance agronomique et alimentaire des légumineuses.....	6
I.1.4 Composition biochimique des graines de légumineuses	7
I.1.4.1 Protéines	7
I.1.4.2 Lipides	8
I.1.4.3 Glucides.....	8
I.1.4.4 Vitamines et éléments minéraux	8
I.2 Etude de quelques légumineuses cultivées en Algérie	9
I.2.1 Pois chiche.....	9
I.2.1.1 Classification botanique	10
I.2.1.2 Description morphologique et botanique	10
I.2.1.3 Différents types de pois chiche.....	11
I.2.1.4 Composition biochimique et valeur nutritionnelle	12
I.2.2 Fève et fèverole	13
I.2.2.1 Description morphologique et classification	14
I.2.2.2 Composition biochimique et valeur nutritionnelle	16
I.2.3 Lentilles	17
I.2.3.1 Description morphologique et taxonomie	18
I.2.3.2 Composition biochimique	19
I.2.3.2.1 Protéines	20
I.2.3.2.2 Fibres alimentaires.....	21
I.2.3.2.3 Glucides.....	21

I.2.3.2.4 Minéraux.....	21
I.2.3.2.5 Vitamines.....	22
I.2 Maladie cœliaque et régime sans gluten.....	22
I.2.1 Définition.....	22
I. 2.2 Epidémiologie et prévalence	23
I. 2.3 Symptômes	24
I.2.3.1 Formes de la maladie.....	25
I. 2.4. Diagnostic.....	26
I. 2.5 Définition du gluten.....	28
I. 2.6 Traitement: régime sans gluten et équilibre alimentaire	29
I. 2.7 Problèmes engendrés par le régime	29
I.2.8 Prévention.....	30
I.3 Technologie biscuitière	31
I.3.1 Définition et historique.....	31
I.3.2. Classification	33
I.3.3 Composition et valeur nutritionnelle	33
I.3.4 Principaux ingrédients et leurs effets	34
I.3.4.1 Farine.....	34
I.3.4.2 Matière grasse.....	35
I.3.4.3 Sucre	36
I.3.4.4 Eau	37
I.3.4.5 Autres ingrédients.....	37
I.3.4.5.1 Levure chimique	37
I.3.5 Procédé de fabrication	38
I.3.5.1 Malaxage (Mélange).....	39
I.3.5.2 Pétrissage.....	39
I.3.5.3 Laminage	39
I.3.5.4 Mise en forme (moulage)	39
I.3.5.5 Cuisson	39
I.3.5.6 Refroidissement.....	40
I.3.5.7 Conditionnement et emballage	40
I.3.6 Critères d'évaluation de la qualité du biscuit	40
I.3.6.1 Texture.....	40

I.3.6.2 Couleur	41
I.3.6.3 Goût	41
I.4 Technologie des pâtes alimentaires	41
I.4.1.Définition.....	41
I.4.2Valeur nutritionnelle.....	41
I.4.3 Relation entre les pâtes alimentaires et le RSG.....	42
I.4.4 Processus de fabrication	43
I.4.5 Constituants des pâtes alimentaires	43
1.4.5.1 Semoule	43
I.4.1.2 L'eau	43
I.4.6 Rôles des constituants de la semoule en pastification	44
I.4.6.1 Rôle des protéines.....	44
I.4.6.2 Rôle des glucides et polyosides	44
I.4.6.3 Rôle des lipides.....	45
I.4.7 Pâtes enrichies	45
I.4.8 Technologie du couscous	46
I.4.8.1 Définition.....	46
I.4.8.2 Composition et valeur nutritionnelle.....	46
I.4.8.3 Place du couscous dans le régime alimentaire	47
I.4.8.4 Procédé de fabrication.....	48

Chapitre II: Matériel et méthodes

II. Matériel végétal.....	52
II.1.1 Caractéristiques des légumes secs utilisés	52
II.1.2 Préparation des farines	53
II.2 Méthodes d'analyse.....	54
II.2.1 Analyse de la matière première.....	54
II.2.1.1 Méthodes d'analyses physico-chimiques	54
II.2.1.1.1 pH.....	54
II.2.1.1.2 Humidité.....	54
II.2.1.1.4 Dosage de l'acide phytique	55
II.2.1.1.5 Dosage d'amidon	56
II.2.1.1.7 Acidité grasse	57
II.2.1.1.9 Dosage des acides aminés	59

II.2.1.1.8 Calcul de l'indice chimique des protéines	60
II.3 Elaboration de produits finis sans gluten	61
II.3.1 Elaboration de biscuit (Cookies) à base de farine de fève et de farine de pois chiche	61
II.3.1.1 Présentation du produit confectionné.....	61
II.3.1.2 Etapes d'élaboration du biscuit	62
II.3.2 Elaboration d'une pâte alimentaire à base de farine de lentilles	65
II.3.2.1 Présentation du produit confectionné.....	65
II.3.2.2 Qualité culinaire des pâtes alimentaires élaborées.....	65
II.3.2.2.1 Cuisson des pâtes sans gluten élaborées	65
II.3.2.2.2 Etat de surface	65
II.3.2.2.3 Pertes à la cuisson (PC).....	66
II.3.2.2.4 Capacité de fixation d'eau (C)	66
II-7- Etapes de fabrications des pâtes alimentaires sans gluten.....	67
II.3.3 Elaboration d'une pâte alimentaire (Couscous).....	68
II.3.3.1 Présentation du produit élaboré (Couscous)	68
II.3.3.2 Matériels utilisés dans le processus de fabrication	68
II.3.3.3 Etapes de fabrication de couscous.....	69
II.3.4 Analyse des produits sans gluten élaborés (Biscuit, Pâte alimentaire, Couscous et Rechta)	72
II.3.4.1 Analyses physico-chimiques	72
II.3.4.2 Analyses organoleptiques.....	72
II.3.4.3 Analyse statistique	73

Chapitre III: Résultats et discussion

III.1 Etude de la matière première (Pois chiche, Lentille, fève et féverole).....	74
III.1.2 Caractéristiques physico-chimiques	74
III.1.2.1 Taux de cendres	75
III.1.2.2 Teneur en eau (Humidité).....	76
III.1.2.3 Teneur en acides phytiques.....	77
III.1.2.4 Teneur en acidité grasse.....	77
III.1.2.5 Teneur en amidon	79
III.1.2.6 Teneur en lipides totaux.....	79
III.1.2.7 Teneur en protéines totales	80
III.1.2.8 Composition en acides aminés.....	81

III.2 Elaboration de produits alimentaires sans gluten	86
III.2.1 Elaboration d'un biscuit (cookies).....	87
III.2.1.1 Résultats des analyses physicochimiques	87
III. 2.1.2 Résultats de l'analyse sensorielle.....	89
III.2.1.2.1 Couleur.....	90
III.2.1.2.2 Odeur	90
III.2.1.2.3 Texture	91
III.2.1.2.4 Goût et saveur	91
III.2.1.2.5 Forme des biscuits élaborés	91
III.2.2 Elaboration d'une pâte alimentaire	91
III.2.2.1 Résultats des analyses physico-chimiques du produit élaboré	92
III.2.2.2 Appréciation de la qualité culinaire des pâtes alimentaires élaborées.....	95
III.2.2.3 Résultats de l'analyse sensorielle	98
III.2.3 Elaboration d'un Couscous sans gluten	99
III.2.3.1 Caractéristiques physicochimiques de produit	100
III.2.3.2 Résultats de l'analyse sensorielle.....	103
III.2.4 Elaboration d'un Rechta.....	106
III.2.4.1 Caractéristiques physicochimiques de produit	106
III.2.4.2 Résultats de l'analyse sensorielle	109
Conclusion	113
Références bibliographiques	116
Annexes	
Résumé	

Liste des abréviations

ATN: Anomalie de tube neural.

CCLS: Coopérative de Céréales et de Légumes Secs.

HLA: Personnes génétiquement prédisposés.

ICARDA: Centre International de Recherche Agricole dans les zones Arides.

IPP: Inhibiteurs de la Pompe à Protons (Oméprazole).

ITGC: Institut National des Grandes Cultures.

MC: Maladie cœliaque.

Zlig: Rajout d'une matière grasse lors de cuisson du Couscous.

Liste des tableaux

Tableau 1: Comparaison entre la production et le rendement des légumineuses et des céréales.....	5
Tableau 2: Composition nutritionnelle de quelques légumineuses.....	8
Tableau 3: Valeurs nutritionnelles de quelques légumineuses en g pour 100 g de matière sèche (MS).....	9
Tableau 4: Production mondiale des principales légumineuses.....	10
Tableau 5: Evolution de la culture du pois chiche en Algérie.....	11
Tableau 6: Classification taxonomique du pois chiche.....	11
Tableau 7: Composition en acides aminés des deux variétés de pois chiches.....	13
Tableau 8: Evolution des cultures de fève et de féverole en Algérie.....	15
Tableau 9: Classification taxonomique de fève et féverole.....	16
Tableau 10: Composition chimique moyenne de la graine de fève	18
Tableau 11: Production mondiale des principales légumineuses alimentaires de 2012 à 2014.....	19
Tableau 12: Classification taxonomique de la lentille.....	20
Tableau 13: Composition chimique (g/100g) de lentilles.....	21
Tableau 14: Profil en acides aminés essentiels des protéines de lentilles.....	21
Tableau 15: Teneur en minéraux pour 100 g de lentilles.....	22
Tableau 16: Teneur en vitamines pour 100 g de lentilles.....	23
Tableau 17: Formes de la maladie cœliaque.....	27
Tableau 18: Valeur nutritionnelle moyenne de quelques biscuits.....	36
Tableau 19: Valeurs nutritionnelles de farine de légumineuses et des pâtes des pâtes alimentaires cuites.....	45
Tableau 20: Composition globale de 100 g de couscous sec.....	50
Tableau 21: Différentes opérations de préparation des farines de légumineuses....	57
Tableau 22: Combinaison type provisoire d'acides aminés proposés pour le calcul d'indice chimique	64
Tableau 23: Types et quantités des ingrédients ajoutés dans la fabrication du biscuit.....	66

Tableau 24: Composition physico-chimiques des différentes espèces étudiées.....	75
Tableau 25: Teneurs en amidon, lipide et protéines des variétés de légumes sec étudiées	78
Tableau 26: Teneurs en acides aminés des variétés de légumineuses (g/16g N).....	82
Tableau 27: Teneurs en acides aminés des variétés de légumineuses (mg/g N).....	83
Tableau 28: Indices chimiques des acides aminés essentiels comparés à la protéine de référence (FAO 1999).....	84
Tableau 29: Résultats des analyses physicochimiques du produits fini « Cookies »..	86
Tableau 30: Résultats des analyses physico-chimiques des pâtes alimentaires.....	92
Tableau 31: Qualité culinaire des pâtes sans gluten élaborées	95
Tableau 32: Résultats des différents paramètres physico-chimique des deux produits élaborés (Couscous A et Couscous B).....	100
Tableau 33 : Caractérisation physicochimique des matières premières	106
Tableau 34: Analyses physicochimiques des mélanges avant et après l'élaboration de la Rechta	107
Tableau 35: Résultats de l'ANOVA des paramètres physico-chimiques (humidité, gluten humide, et protéines) des mélanges et de la Rechta élaborée.....	109

Liste des figures

Figure 1: Principaux producteurs mondiaux de légumineuses en 2014	5
Figure 2: (a) Grains de pois-chiche, (b) Aspect des gousses.....	12
Figure 3: A) Pois chiche type Desi. B) Pois chiche type Kabuli.....	13
Figure 4: Fève (a) Forme des graines, (b) Aspect des gousses.....	16
Figure 5: Plante de lentille.....	20
Figure 6: Atrophie villositaire totale de la muqueuse intestinale dans la maladie cœliaque. (a) Muqueuse normale, (b) Atrophie villositaire totale.....	24
Figure 7: Taux de séroprévalence de la maladie cœliaque dans certains pays.....	26
Figure 8: Etapes de l'atrophie villositaire de la maladie cœliaque.....	29
Figure 9: a) Orge, b) Blé, c) Avoine et d) Seigle.....	30
Figure 10: Différents types de biscuits.....	35
Figure 11: Procédé de fabrication de biscuits.....	41
Figure 12: Diagramme de fabrication du couscous.....	52
Figure 13: Graines de légumineuses (a) Fève (Seville), b) Pois chiche (Flip 90), c) Féverole (Giza 402), d) Lentille (CDC Richlea).....	56
Figure 14: Aspect des farines obtenues et broyeur traditionnel (e): a) Pois chiche (Flip90), b)Fève(Seville),c)Féverole(Giza402),d) Lentille(CDC Richlea).	58
Figure 15: Diagramme d'élaboration de cookies sans gluten à base de farine de pois chiche (Flip 90) et de farine de fève (Seville).....	68
Figure 16: Diagramme de fabrication des pâtes alimentaires.....	70
Figure 17: a) Diagramme de fabrication de couscous artisanal à base de farine de féverole (Giza 402) et de farine de pois chiche (flip 90109).....	70
b) Etapes d'élaboration de la pâte alimentaire (Rechta).....	70
Figure 18: Composition physico-chimiques des espèces étudiées	75
Figure 19: Teneurs en amidon, lipide, et protéines des variétés de légumes secs étudiées.....	79
Figure 20: Profil en acides aminés des légumineuses étudiées.....	82
Figure 21: Teneurs en acides aminés des variétés de légumineuses (g/16gN).....	83
Figure 22: Indices chimiques des acides aminés essentiels comparés à la protéine de référence (FAO 1999).....	84

Figure 23: Cookies sans gluten élaborés à base de farine de pois chiche (Flip 90) et de farine de fève (Seville) (Originale).....	85
Figure 24: Résultats des analyses physicochimiques du produit fini « Cookies ».	86
Figure 25: Présentation graphique du profil sensoriel du produit fini« Cookies »	89
Figure 26: Pâtes alimentaires confectionnées après cuisson (Originale).....	91
Figure 27: Résultats des analyses physico-chimiques des pâtes alimentaires.....	94
Figure 28: Qualité culinaire des pâtes sans gluten élaborées.....	95
Figure 29: Présentation graphique du profil sensoriel du produit fini (Pâtes alimentaires).....	97
Figure 30: Résultats de l'évaluation sensorielle des pâtes cuites.....	99
Figure 31: Résultats des différents paramètres physico-chimiques des deux produits élaborés (Couscous A et Couscous B).....	101
Figure 32: Présentation graphique du profil sensoriel du produit fini (Couscous A).....	103
Figure 33: Présentation graphique du profil sensoriel du produit fini (Couscous B).....	103
Figure 34: Résultats du profil sensoriel du Rechta sec enrichi (A: Rechta enrichi à 50% de farine de pois chiche, B : Rechta enrichi à 70% de farine de pois chiche)	110
Figure 35: Résultats de l'évaluation sensorielle du Rechta cuit enrichi (A' : Rechta cuit enrichi à 50 % de farine de pois chiche, B' : Rechta cuit enrichi à 70 % de farine de pois chiche).....	111
Figure 36: Résultats de l'évaluation sensorielle du Rechta enrichi (A': Rechta cuit enrichi à 50 %, B' : Rechta cuit enrichi à 70 %)......	112



INTRODUCTION

Introduction

Les légumineuses sont parmi les cultures vivrières les plus cultivées par l'homme et ont depuis longtemps occupé une place importante dans l'alimentation humaine (CHORRIER-COLLET et ASTIER, 2024). Elles sont la deuxième famille de plantes cultivées après les céréales en termes de surface plantée et de rendement (SANNA et al., 2022; IBRAHYMA et al., 2023). De la famille des Fabaceae, elles comptent environ 20 000 espèces caractérisées par des fleurs à cinq pétales et un ovaire supérieur formant une gousse remplie de grains riches en protéines et jouent un rôle important dans la rotation culturale avec les céréales (MAGRINI et al., 2021). Leur intérêt ne réside pas seulement dans leurs aspects agronomiques (assimilation de l'azote minéral du sol et fixation de l'azote de l'air) mais aussi dans leur grande valeur nutritionnelle (richesse en protéines, vitamines et éléments minéraux).

La culture des légumineuses est une source indéniable de protéines végétales, reconnue comme l'une des meilleures solutions alimentaires et les moins chères au monde. En effet, les protéines animales sont deux fois plus chères que les protéines végétales. De point de vue nutritionnel, les graines de légumineuses contiennent plus de protéines que celles des céréales (GUIRROU et al., 2022).

Ainsi, en raison de leur important apport en protéines végétales et face au manque de protéines animales, les légumineuses constituent une source potentielle susceptible de pallier au déficit en protéines dans la ration alimentaire (GAUDREAU et al., 2024).

Selon ZRIOUEL, (2021), outre leur valeur alimentaire, les protéines végétales possèdent des propriétés physico chimiques, qui permettent de les employer avantageusement en technologie alimentaire (émulsifiants, gélifiants ...) et aussi comme alternatif dans les régimes sans gluten (maladie cœliaque). Cette dernière, est une entéropathie associée à l'alimentation causée par une intolérance au gluten (protéine présente dans le blé et d'autres céréales seigle, orge et avoine). Elle se produit chez des individus génétiquement prédisposés. La fraction protéique toxique est la gliadine (extrait alcoolique des prolamines du blé), appelée aussi sécaline dans le cas du seigle, hordénine pour l'orge et avénine de l'avoine. Elles sont responsables d'une atrophie totale ou subtotale des villosités intestinales conduisant à une malabsorption de nombreux éléments nutritifs qui se traduit par un retard de

croissance chez les enfants et un risque d'ostéoporose chez les adultes (SCHMITZ, 2013; SALAH, (2016); AMMOUCHE *et al.*, 2024).

Le traitement de la maladie cœliaque est uniquement diététique. Il consiste à supprimer totalement le gluten de l'alimentation. Ce traitement est simple dans son principe mais difficile à mettre en œuvre compte tenu des contraintes sociales qu'il impose notamment après la première année de la vie, au fur et à mesure que l'enfant grandit. Il pose un problème dans les pays où l'alimentation est à base de céréales (DENERY-PAPINI *et al.*, 2001; CEGARRA, 2006; SCHMITZ, 2013).

BOUMEDINE et ATTAR, (2022), estiment qu'en Algérie, les malades cœliaques souffrent d'un manque d'aliments de consommation courante ne contenant pas de gluten. Les produits diététiques commercialisés destinés à cette tranche de population sont pour la plupart importés, onéreux, peu diversifiés, de texture et de goût peu appréciés. Ce problème se pose surtout pour les enfants en âge de sevrage dont les besoins nutritionnels ne dépendent plus que du lait maternel (BENATALLAH *et al.*, 2009). A cet effet, les légumes secs (pois chiche, fève, féverole, lentille ...) jouent un rôle essentiel sur le plan nutritionnel et économique en raison de leur place dans l'alimentation des millions de personnes. Leur importance alimentaire est due au fait qu'elles sont riches en protéines (teneur deux à trois fois plus élevée que la plupart des céréales). Elles constituent une bonne source d'énergie et fournissent de nombreux éléments minéraux essentiels, comme le calcium et le fer. Ainsi, l'introduction des légumineuses dans le régime alimentaire des malades cœliaques est primordiale sur le plan nutritionnel et économique (DENERY-PAPINI *et al.*, 2001). Les variétés de légumes secs sont exemptes de gluten, riches en protéines et présentent des profils en acides aminés équilibrés (REMESY *et al.*, 2015).

Ce travail consiste à l'étude essentiellement de la composition biochimique et la valeur nutritionnelle de quelques légumineuses cultivées en Algérie (Fève, Féverole, Pois chiche et Lentille) et leur valorisation en les utilisant pour confectionner des produits alimentaires sans gluten (biscuits, pâtes alimentaires, couscous et rechta) afin d'améliorer la situation alimentaire des malades céliques. Ce document est composé de trois chapitres, le premier englobe la synthèse bibliographique, citant les différents travaux réalisés sur les légumineuses et la maladie cœliaque engendrée par la consommation des produits céréaliers riches en

gluten ainsi que ses effets sur la santé humaine. Le deuxième chapitre cite tous le matériel et les méthodes liés à l'étude. Le troisième et dernier chapitre traite les résultats obtenus et leur discussion. Nous terminons cette étude par une conclusion générale qui renferme des perspectives.



Chapitre I

Chapitre I: Synthèse bibliographique

I.1 Légumes secs

I.1.1 Généralités

Les légumineuses constituent l'une des plus importantes familles de dicotylédones, fournissant à l'humanité le plus grand nombre d'espèces utiles à sa survie (**LE ROUX et al., 2012; FONTY et al., 2019**).

Les légumineuses (pois, lentilles, haricots, fèves, soja et pois chiches) comptent parmi les cultures les plus importantes en raison de leurs divers avantages agricoles et environnementaux et de leurs propriétés nutritionnelles (**FALL et JACQUEMOT, 2023; JACQUEMOT, 2023**). Ces graines occupent une place importante dans l'alimentation humaine, constituant une source très importante de protéines végétales pouvant compenser les carences en protéines animales, en fournissant au moins 33 % des besoins en protéines alimentaires de l'homme (**GUEGUEN et al., 2016; OULBACHIR, 2021**). Elles sont également riches en hydrates de carbone, en micronutriments (minéraux et vitamines) et en fibres alimentaires de haute qualité (**REMOND et WARLAND, 2017**).

Des études montrent que les légumes secs présentent plusieurs avantages pour la santé, leur consommation réduit la réaction glycémique postprandiale et les fibres solubles contenues dans leurs graines réduisent le taux de cholestérol dans le sang, de sorte qu'une consommation régulière contribue à prévenir le risque de maladies cardiovasculaires. Aussi, les légumes secs sont bénéfiques pour le contrôle du poids corporel et la prévention de l'obésité (**REMOND et WARLAND, 2017**).

I.1.2 Production de légumineuses

I.1.2.1 Production mondiale

Actuellement, la production totale des légumineuses frôle les 80 millions de tonnes dans le monde; les pays d'Asie fournissent environ 50 % de cette production (**CARTON et al., 2019**).

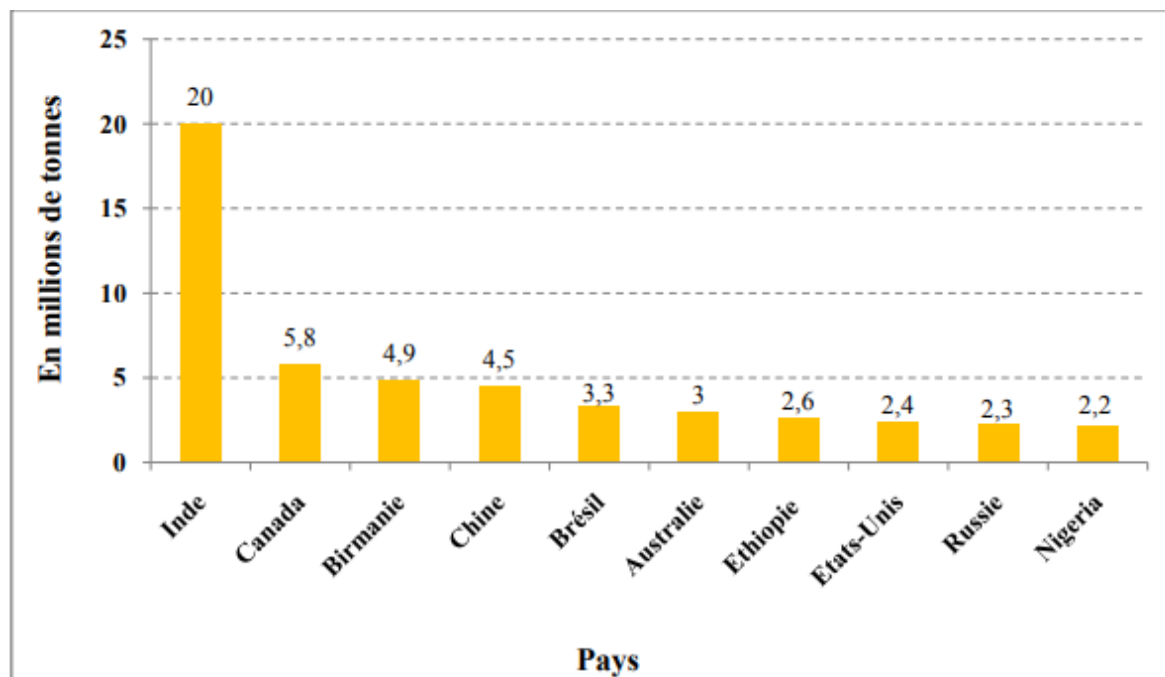


Figure 1: Principaux producteurs mondiaux de légumineuses en 2014 (FAO, 2016).

Selon la FAO (2016), l'Inde, le Canada, la Birmanie, la Chine, le Brésil, l'Australie, l'Éthiopie, les USA, la Russie et le Nigéria sont les principaux producteurs mondiaux de légumineuses en 2014 (Fig. 1). Avec 20 millions de tonnes de production, l'Inde est de loin le premier producteur mondial de légumineuse (FAO, 2016).

Comparée à celle des céréales, la production mondiale de légumineuses est bien plus faible (Tab.1). Le soja, étant la légumineuse la plus cultivée, reste tout de même bien en dessous des productions de blé ou de maïs qui sont plus de deux fois plus productives. Il en est de même pour le rendement par hectare (DARIMONT, 2022).

Tableau 1: Comparaison entre la production et le rendement des légumineuses et des céréales (DARIMONT, 2022).

Production / Rendement	Production mondiale 2018 (Million de tonnes)	Rendement mondial 2018 (Tonne par hectare)
Légumes secs	348,71 (soja) 30.43 (haricot sec) 13.5 (pois sec)	2,79 (soja)
Céréales	2,7 milliards de tonnes 735,18 (blé)	4,07

Les légumineuses aident à réduire le risque de maladie coronarienne. Elles sont riches en fibres solubles et sont connues pour leurs effets positifs sur le taux de cholestérol LDL, un facteur de risque reconnu de maladie coronarienne (COLOMBET *et al.*, 2022).

Les légumineuses sont une bonne source de vitamines, tel que l'acide folique (vitamine B9), qui aident à réduire le risque d'anomalies du tube neural (ATN) comme *Spina bifida* chez les nouveau-nés (CAYOT, 2021). Leur teneur élevée en fer fait des légumineuses un excellent aliment pour prévenir l'anémie ferriprive chez les femmes et les enfants, surtout s'ils sont consommés avec des aliments riches en vitamine C, qui stimule l'absorption du fer (LATHAM, 2001).

La qualité des protéines des régimes végétariens et à base de plantes augmente considérablement lorsque les légumineuses sont consommées avec des céréales (THOMAS, 2016).

I.1.2.2 Production nationale

En Algérie, les légumineuses alimentaires ont toujours occupé, sur le plan de la superficie, le troisième rang après les céréales et les fourrages. Leur superficie est de l'ordre de 90 mille ha représentant 0,21 % de la superficie agricole totale en 2014. Les espèces les plus cultivées sont: la fève, la fêverole, le pois chiche, le pois sec, les lentilles et l'haricot sec (RAHMANI, 2018; MART *et al.*, 2022).

I.1.3 Importance agronomique et alimentaire des légumineuses

Les avantages des légumineuses sont doubles. D'une part, elles sont riches en protéines (17 % à 25 % dans le soja, et 36 % à 44 % dans le lupin). A ce titre, elles jouent un rôle important dans l'alimentation humaine (elles remplacent les protéines animales dans de nombreux pays) et, aussi, dans l'alimentation des animaux, notamment les porcs et les volailles. D'autre part, elles fixent l'azote de l'air, elles sont donc parfaites pour les agriculteurs qui sont toujours à la recherche d'azote pour la fertilisation des sols (POINTEREAU, 2001; COULIBALY *et al.*, 2017).

La qualité nutritionnelle d'une protéine se définit en premier lieu par sa composition en acides aminés, et sa digestibilité. Les protéines de légumineuses sont généralement riches en acides aminés indispensables (20-45%) et en particulier en lysine (MAPHOSA *et* JIDEANI, 2017), mais elles sont relativement pauvres en acides aminés soufrés et en tryptophane (OUEDRAOGO *et al.*, 2023).

Les légumineuses ont des teneurs naturellement faibles en acides gras saturés, et exemptes de cholestérol. Ces végétaux ont également un faible indice glycémique,

généralement compris entre 10 et 40. Les graines de légumineuses constituent également une source importante de fibres, de vitamines du groupe B (notamment de folates), ainsi que de minéraux (fer, zinc, calcium ...) (REMOND et WARLAND, 2017).

Les légumineuses sont sans gluten, ce qui en fait un aliment bénéfique pour les personnes allergiques ou souffrant de la maladie cœliaque. Elles sont riches en composés bioactifs tels que les composés phytochimiques et les antioxydants (ZRIOUEL, 2021). Elles présentent aussi un effet protecteur contre le cancer de la prostate (GERBER, 2015).

I.1.4 Composition biochimique des graines de légumineuses

Les graines de légumineuses sont caractérisées par une forte densité énergétique et nutritionnelle (Tab.2) vu leurs richesses en fibres, en protéines, en hydrates de carbone, en vitamines du groupe B, du fer, du cuivre, du magnésium, du manganèse, du zinc et du phosphore (REMOND et WALRAND, 2017).

Tableau 2: Composition nutritionnelle de quelques légumineuses (DARIMONT, 2022).

Légumineuses	Protéines (%)	Glucides (%)	Fibres (%)	Lipides (%)	Cendres (%)
Pois	34,7	54,72	4,25	2,4	3,93
Pois chiches	19,30	60,65	17,4	6,04	2,48
Lentilles	31,4	56,53	6,75	1,15	4,16
Haricots	23,58	60,01	24,9	0,83	3,83

I.1.4.1 Protéines

Les protéines végétales sont apportées principalement par des aliments traditionnels comme les légumes secs (haricot, pois chiche, lentille...) et les produits céréaliers (pain, biscuits, riz...) (GUEGUEN *et al.*, 2016).

La qualité nutritionnelle des protéines alimentaires est déterminée en grande partie par leur composition en acides aminés essentiels et leur digestibilité (REMOND et WALRAND, 2017). Les protéines des légumineuses sont généralement riches en lysine, leucine, acide aspartique, acide glutamique et arginine, mais manquent de méthionine, de cystéine et de tryptophane (DARIMONT, 2022).

Les protéines des légumes secs sont principalement composées de globuline et d'albumine (GALLARDO *et al.*, 2017). Elles contiennent presque tous les acides aminés essentiels et une forte proportion de lysine, mais présentent un manque en acides aminés soufrés qui constituent le facteur limitant. Elles peuvent donc être complétées par les produits

céréaliers dont les protéines sont riches en acides aminés soufrés et déficientes en lysine. Les protéines sont situées presque exclusivement dans les cotylédons (GUEGUEN *et al.*, 2016; CRUZ *et al.*, 2020).

I.1.4.2 Lipides

Les lipides se trouvent en faible quantité dans les graines des légumineuses (à l'exception du pois chiche (6 %) mais renferment les acides gras essentiels de bonne qualité (BOUCHAIR et BOURAD, 2016; CRUZ *et al.*, 2020).

I.1.4.3 Glucides

Les glucides se caractérisent par une forte proportion d'amidon et une forte teneur en amylose (BISCARRAT, 2023). Les graines de légumineuses sont riches en glucides complexes et constituent donc une bonne source d'énergie (BOUMANA, 2022). Ils sont constitués d'amidon parfaitement digestible (45 à 50 %), et de fibres (8 à 18%); par contre, on y trouve aussi des α -galactosides (raffinose, stachyose, verbascose, etc.) non digestibles, hydrolysés et métabolisés par les bactéries intestinales en hydrogène, méthane et autres gaz responsables de la flatulence (REMOND et WALRAND, 2017).

I.1.4.4 Vitamines et éléments minéraux

Concernant les vitamines et les minéraux, les légumineuses sont une bonne source de potassium, de phosphore et de magnésium. Elles sont également une excellente source de fer, de vitamine C, de l'acide folique et du manganèse (TOUGAN et THEWIS, 2020). Le tableau suivant (Tab.3) présente les caractéristiques nutritionnelles des graines de quelques variétés de légumineuses:

Tableau 3: Valeurs nutritionnelles de quelques légumineuses en g pour 100 g de matière sèche (MS) (BOYE *et al.*, 2010).

Légumineuses	Protéines (%)	Lipides (%)	Glucides (%)	Fibres (%)	Minéraux (%)
Haricot	26,2- 43,6	1-1,9	60-65	4-5	3-4,9
Soja	37,6	18,3	6,322	22	4,69
Pois chiche	19,4-20	5-5,6	54,9-58	-	4
Lentille	25,6- 30	1,6-1,9	60-62	30,5	2,6-3
Fève	27,6-30,2	1,5	55,4-60	8,4	4,1

I.2 Etude de quelques légumineuses cultivées en Algérie

I.2.1 Pois chiche

Le pois chiche appartient à la famille des Fabacées. Elle est la deuxième légumineuse la plus cultivée dans le monde (**Tab.4**). Sans compter le soja qui est la légumineuse indétrônable dans la production mondiale avec plus de 300 millions de tonnes produites annuellement. Les pois chiches sont très nutritifs et constituent une source de protéines relativement peu coûteuse qui fournit des composés phytochimiques bénéfiques pour la santé (**DARIMONT, 2022**).

Tableau 4: Production mondiale des principales légumineuses (en millions de tonnes) (**DARIMONT, 2022**).

Légumes secs	Soja	Haricots	Pois chiches	Pois	Lentilles
Production mondiale (Mt)	384,00	30,43	17,19	13,53	6,33

Le pois chiche est l'une des principales légumineuses comestibles et occupe une place importante dans l'alimentation des populations. Cette espèce est cultivée dans plusieurs zones agro-écologiques et est une source très importante de protéines, jusqu'à 30 % en poids du grain. La valeur nutritionnelle de graines de pois chiche est comparable à celle apportée par les protéines animales (**ZINE-ZIKARA et al., 2015**).

La superficie réservée à la culture du pois chiche en Algérie a atteint les 37 % de la superficie totale réservée aux légumes secs en 2014; en quatorze ans, cette superficie n'a augmentée que de 16 %. Le **Tableau 5** résume l'évolution de la culture du pois chiche en Algérie durant les quatre dernières années (**Ministère de l'Agriculture 2020**).

Tableau 5: Evolution de la culture du pois chiche en Algérie (Ministère d'Agriculture, 2020)

Années	Superficie (Hectares)	Production (Quintaux)
2016	403	3700
2017	406	3898
2018	372.5	4122
2019	483	4347

I.2.1.1 Classification botanique

Selon le département de l'agriculture des États-Unis, la classification taxonomique du pois chiche est comme suit (**Tab.6**):

Tableau 6: Classification taxonomique du pois chiche (USDA) (United states département of agriculture)

Règne	Planctae
Sous-règne	Tracheobionta
Division	Magnoliophyta
Classe	Magnoliopsida
Sous-classe	Rosidae
Ordre	Fabales
Famille	Fabacées
Genre	<i>Cicer</i>
Espèce	<i>Cicer arietinum L.</i>

I.2.1.2 Description morphologique et botanique

Sur le plan botanique, le pois chiche est décrit comme une plante herbacée annuelle, dressée ou rampante, couverte de poils glanduleux. Sa germination est de type hypogé (les cotylédons restent souterrains). La plante est dotée d'un système racinaire très profond, adapté aux zones arides et sèches (**Fig. 2**). Sa hauteur varie entre 20 et 100 cm. Ses feuilles se composent de 7 à 17 folioles ovales et dentées. Les fleurs peuvent être blanches, bleues ou violettes; solitaires et pédonculées. La taille des gousses varie de 8 à 41 mm en longueur et de 6 à 15 mm en largeur. Généralement, chaque gousse contient une à deux graines. Le poids de 1000 grains varie de moins de 8g à plus de 70g (**WALKER, 2010**).

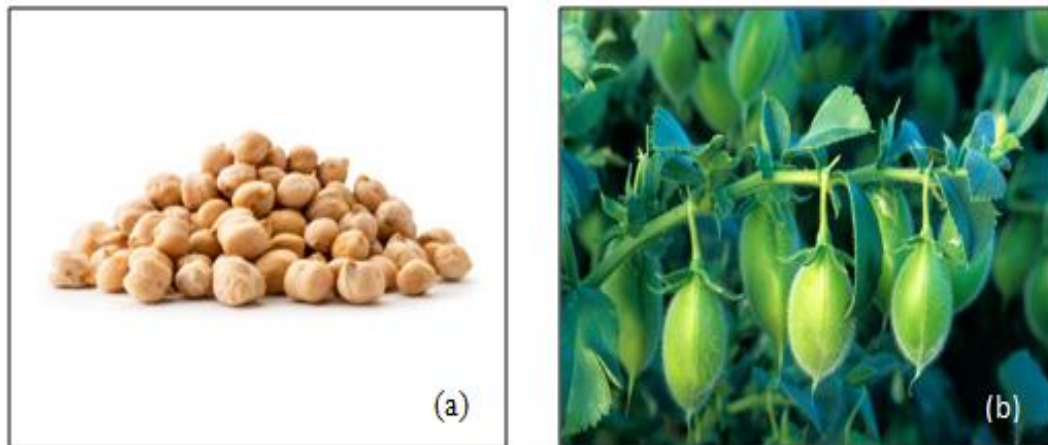


Figure 2: (a) Grains de pois-chiche, (b) Aspect des gousses (WALKER, 2010).

I.2.1.3 Différents types de pois chiche

Les pois chiches sont cultivés dans diverses régions du monde, il en existe deux principaux groupes: Kabuli et Desi (**fig.3**) (SANJEEWA *et al.*, 2010; BELLEMOU, 2020). Le type Kabuli est caractérisé par des graines de couleur beige ayant la forme d'une tête de bélier, tégument mince, et une surface lisse (VARSHNEY *et al.*, 2013). Il a généralement des graines de grande taille (JENDOUBI *et al.*, 2017). Le pois chiche de type Desi possèdent des téguments colorés et épais. La couleur inclue diverses nuances et combinaisons de marron, jaune, vert et noir. Les graines de pois chiche de type Desi sont généralement petites et angulaires avec une surface rugueuse (GAUR *et al.*, 2010; CHABNI et BELABBAS, 2022).

D'après BELLEMOU *et al.*, (2020), plusieurs nouvelles variétés de pois chiche Desi et Kabuli sont développées grâce à des programmes de recherche menés respectivement par l'ICRISAT et l'ICARDA. Il a été admis que le pois chiche Kabuli est dérivé du pois chiche Desi par une mutation suivie d'une sélection consciente (JANA et SINGH, 1993 ; AMRI *et al.*, 2019).

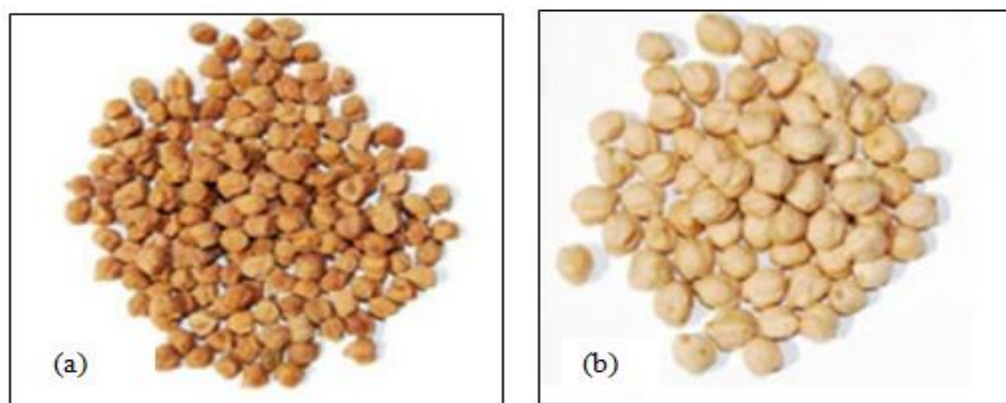


Figure 3: A) Pois chiche type Desi. B) Pois chiche type Kabuli (SANJEEWA *et al.*, 2010).

I.2.1.4 Composition biochimique et valeur nutritionnelle

Le pois chiche est principalement constitué de glucides, représentant environ 60 à 70 % des graines sèches et crues (64% de carbohydrates, 47 % d'amidon). Il compte également 5 % d'acide gras, principalement l'acide linoléique et l'acide oléique. Sa composition minérale est riche en phosphore (343 mg / 100 g), calcium (186mg/100g), magnésium (141mg/100g), fer (7mg/100g) et du zinc 3mg /100g) (PRATAP et KUMAR, 2011; MANICKAVASAGAN et THIRUNATHAN, 2020).

Les teneurs en protéines du pois chiche cru et de sa farine varient de 19,3 % à 22,4 %, ce qui permet de considérer les protéines comme le deuxième composant majeur du pois chiche (Tab.7). Les protéines principalement retrouvées dans les graines sont les albumines, les globulines, les prolamines, les gluténines et les protéines résiduelles. Les acides aminés limitant du pois chiche sont les acides aminés soufrés (IQBAL *et al.*, 2006; RUBIALES *et al.*, 2018).

Tableau 7: Composition en acides aminés des deux variétés de pois chiches (IQBAL *et al.*, 2006).

Paramètres	Acide aminé (g /100g protéines)	Pois chiche Desi	Pois chiche kabuli
Acides aminés essentiels	Arginine	8,5	8,0
	Lysine	7	7,8
	Méthionine	1,1	1,3
Acides aminés non essentiels	Alanine	5,2	4,7
	Cystéine	0,6	0,8
	Sérine	3,5	4,2

Le pois chiche est très apprécié comme aliment de santé surtout dans les pays développés vu sa faible teneur en matières grasses et sa richesse en fibres (BAUMGARTNER *et al.*, 1998; RIO, 2017). Actuellement, il est établi que sa consommation régulière améliore la santé (GONCALVES et FEILLET-COUDRAY, 2024). En effet, il convient au régime alimentaire pour les patients souffrant de maladies coronariennes et cardiovasculaires et aux diabétiques du type II (TRINIDAD *et al.*, 2010; DWORATZEK *et al.*, 2013). Il contrôle le taux de cholestérol et la tension artérielle (JUKANTI *et al.*, 2012, REMOND et WARLAND, 2017) et couvre largement les besoins nutritifs en acides aminés de l'homme adulte et de l'enfant selon les normes données en 1985 par la FAO (KANJ, 2018).

Il renferme également une multitude de vitamines hydrosolubles comme la biotine qui est cofacteur essentiel aux carboxylases et décarboxylases, enzymes clés de la majorité des cycles métaboliques (MARGIER *et al.*, 2017). Il contient des minéraux comme le fer, le potassium, le calcium, le magnésium et des oligoéléments. Ceci fait de lui un aliment équivalent au poisson ou à la viande bovine, surtout s'il est associé aux céréales (DARIMONT, 2022).

I.2.2 Fève et féverole

La fève et la féverole sont parmi les légumineuses les plus cultivées dans le monde. Leur origine a longtemps été discutée. Actuellement, il existe des régions méditerranéennes qui sont considérées comme l'origine de ces légumes, leur culture représente près de 25 % de la superficie totale cultivée.

En Algérie la fève et la féverole sont les plus importantes parmi les légumineuses alimentaires avec 58.000 hectares soit 44,3 % de la superficie totale réservée à cette catégorie de cultures. Leur production moyenne annuelle est de 7783.5 quintaux au cours de la période 2016-2019 (Ministère de l'agriculture, 2020). Cependant les rendements restent les plus faibles dans le monde avec 4,41 q/ha (BOUZNAD *et al.*, 2001). En Algérie, la fève et la féverole sont retenues surtout pour la consommation humaine sous forme de gousses fraîches, ou en grains secs (LEBBAL, 2010; RUAS, 2018).

Leur culture est pratiquée essentiellement au niveau des plaines côtières et de l'intérieur et dans les zones sahariennes. Les pays méditerranéens ont produit 1 093 000 tonnes de fèves et de féverole, soit 25 % de la production mondiale en 2005 (GIOVE et ABIS, 2007). L'Algérie, avec 27000 tonnes, occupe le 17^{ème} rang au niveau mondial et le 6^{ème} rang au niveau continental (GIOVE et ABIS, 2007). Le Tableau 8 résume l'évolution de ces cultures en Algérie durant les quatre dernières années (Ministère d'Agriculture 2020).

Tableau 8: Evolution des cultures de fève et de féverole en Algérie (Ministère d'Agriculture, 2020)

Années	Superficie (Hectares)	Production (Quintaux)
2016	608	5946
2017	625.5	7837
2018	804	8514
2019	713	8837

La fève et la féverole sont nutritionnelles, économiques, comme elles sont bénéfiques pour l'environnement. La fève et la féverole (*Vicia faba L.*) sont des légumineuses importantes en raison de leurs teneurs élevées en protéines et en amidon (CHEVALIER, 2014; KACI, 2018). Elles sont cultivées dans différentes conditions climatiques. L'Afrique du Nord est l'une des régions les plus productrices de la fève et de la féverole dans le monde. En Algérie, elles occupent la première place parmi les légumineuses grâce à leur haute valeur nutritionnelle et leur utilisation en rotation des cultures (fertilisant organique) (KHARRAT et al., 2023).

I.2.2.1 Description morphologique et classification

La fève et la féverole sont des plantes herbacées annuelles de taille qui peut dépasser 1.80 m (Fig.4). Elles présentent une tige simple, dressée, non ramifiée, creuse et de section quadrangulaire (PERON, 2006; AZIRI, 2007). Les feuilles de couleur vert claire, ovales, entières. Elles comportent 2 folioles à la base de la tige puis 3 ou 4 par la suite (N'GORAN, 2015).

Selon GALLAIS et BANNEROT (1992), les fleurs classiques de légumineuses sont portées aux aisselles des nœuds reproducteurs en grappes de 2 à 12 selon le type. Les fleurs sont grandes, 2 à 3 cm, blanches tachées de noir (ZERROUKI et KADI, (2021). Les fruits sont de longues gousses vertes, épaisses, contenant, selon le type, de 3 à 12 grains ovales (POLESE, 2006; AUBRY, 2012).

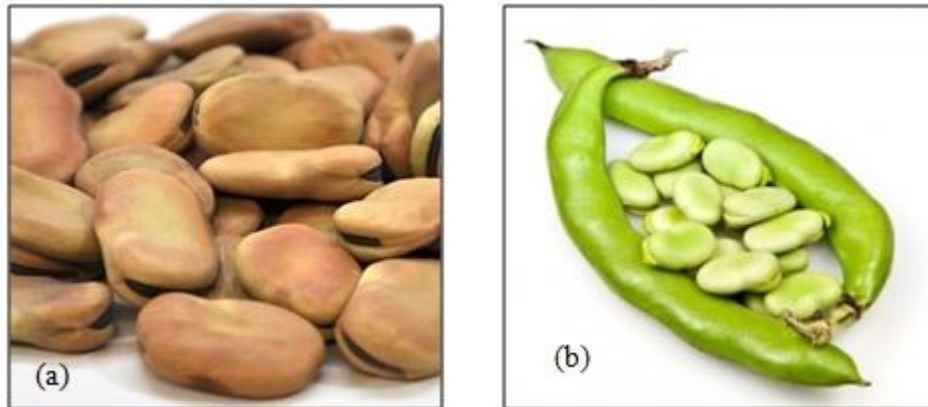


Figure 4: Fève (a) Forme des graines, (b) Aspect des gousses (PERON, 2006).

D'après DAJOZ (2000), la fève et la féverole occupent la position systématique suivante (Tab. 9):

Tableau 9: Classification taxonomique de fève et féverole (DAJOZ, 2000)

Règne	Plantes
Embranchement	Spermaphytes
Sous-embranchement	Angiospermes
Classe	Dicotylédones
Sous-classe	Dialypétales
Ordre	Rosale
Famille	Fabacées
Sous-famille	Faboideae
Genre	<i>Vicia</i>
Espèce	<i>Vicia Faba L.</i>

La fève et la féverole sont subdivisées selon la taille des graines en 3 sous espèces (NUESSLY et al., 2004):

- *Vicia faba* var. minor Beck et *Vicia faba* var. equina Pers, ou féveroles dont les graines sont respectivement de petite taille et de taille moyenne. Elles sont principalement cultivées pour l'alimentation animale ou comme engrais vert;
- *Vicia faba* var. major Harz, ou fève proprement dite se distingue par la taille importante de ses graines. Elle est destinée à l'alimentation humaine.

I.2.2.2 Composition biochimique et valeur nutritionnelle

La fève et la féverole constituent un aliment nutritif très important notamment pour les populations à faible revenu qui ne peuvent pas toujours s'approvisionner en protéines d'origine animale (BOULEHLIB *et al.*, 2020; SHARAN *et al.*, 2021). Elles renferment un taux élevé en protéines (20 % à 35 % de M.S), la plupart sont des globulines (60 %), des albumines (20 %), des gluténines (15 %) et des prolamines. Contrairement aux céréales, les graines de légumineuses contiennent des protéines riches en lysine et faibles en méthionine, cystéine et tryptophane. De ce fait, elles sont souvent incorporées dans les régimes alimentaires comme substituant (CREPON *et al.*, 2010; GUILLIN *et al.*, 2021).

La fève et la féverole sont aussi de bonne source de glucides (50 % à 60 % d'amidon), de minéraux (leur teneur varie entre 1 % et 3,5 %, particulièrement riche en calcium et en fer), de fibres (7%), l'hémicellulose étant le principal composant (BOULEHLIB *et al.*, 2020) et de vitamines (les quantités de thiamine tocophérols, niacine et l'acide folique sont élevées alors que la vitamine C, la riboflavine et d'autres vitamines liposolubles sont faibles (GOYOAGA *et al.*, 2011).

Cependant, la proportion lipidique est faible environ (1 % - 2,5 %), particulièrement riche en acides gras linoléique (LARRALDE et MARTINEZ, 1991; MARTIN *et al.*, 2019).

La fève et la féverole constituent une source considérable d'énergie 344 Kcal/100 g et peuvent efficacement remplacer les protéines animales dans les pays pauvres (CHAIEB *et al.*, 2011; SAADI *et al.*, 2019). Néanmoins, KÖPKE et NEMECEK (2010) signalent que les graines de fève et de féverole contiennent des substances anti nutritionnelles telles que: les tannins qui réduisent la digestibilité des protéines et les dérivés de la vicine et convicine qui causent le favisme seulement chez les personnes ayant un déficit en glucose-6-phosphate déshydrogénase dans le sang. La plupart de ces substances sont éliminées par la cuisson ou par simple trempage, elles sont aussi enlevées par des traitements physico-chimiques ou par la sélection de nouveaux cultivars à faible teneur en vicine et convicine (CREPON *et al.*, 2010).

La composition moyenne de la graine est donnée dans le tableau ci-dessous (Tab. 10) (BOULEHLIB *et al.*, 2020).

Tableau 10: Composition chimique moyenne de la graine de fève (BOULEHLIB et al., 2020).

Composition chimique	Teneur (%)
Matière azotée totale	29,9
Cellulose brute	8,4
Amidon	44
Matière grasse	1,5
Cendres	4,1

La fève et la féverole ont une teneur élevée en lysine et également en arginine. Elles représentent une bonne source de protéines. Le taux de protéines est équivalent à celui des protéines de la viande et de poisson, il varie entre 200 et 410 g /kg selon la variété (BOULEHLIB et al., 2020).

I.2.3 Lentilles

Les lentilles sont de petites graines appartenant à la famille des légumineuses (CHOLEZ, 2016). Elles sont utilisées dans l'alimentation humaine depuis la préhistoire et le botaniste allemand *Medicus* leur a donné leur nom scientifique, *Lens culinaris*, en 1787. Elles sont cultivées en rotation avec les céréales et sont utilisées pour l'alimentation humaine grâce à leur teneur élevée en protéines (DURU et al, 2017; SAHRI et al., 2023).

A l'échelle mondiale, la lentille se classe 4^{ème} en terme de production parmi les légumineuses alimentaires après la fève, le pois chiche et le petit pois (Tab.11).

La production de lentilles varie d'un pays à l'autre en fonction de divers facteurs tels que la température, les précipitations et les superficies cultivables. D'après les données de la FAO, en 2017, l'Amérique est le principal producteur avec 54 %, suivie de l'Asie avec 36 %. L'Europe représente 4 % de la production, tandis que l'Afrique et l'Océanie contribuent chacune de 3 %. Ainsi, le Canada, l'Inde, la Turquie, les États-Unis, le Kazakhstan, le Népal, l'Australie, la Russie, la Chine et le Bangladesh figurent parmi les principaux producteurs mondiaux de lentilles. Comparativement, la production du Maroc reste très modeste. Alors que le rendement moyen au Canada atteint 15127 hg/ha, celui du Maroc est seulement de 6574 hg/ha (CARTON et al., 2019).

En Algérie, les lentilles sont la troisième culture de légumineuses la plus importante après les haricots et les pois. La superficie consacrée aux lentilles est passée de 920 ha en

2001 à plus de 27 000 ha en 2018, et la production a atteint 300 000 quintaux en 2018, contre 4 580 quintaux en 2001. Selon le ministère de l'Agriculture, l'Algérie n'importera pas de pois chiches et de lentilles dans les prochaines années (AMRI *et al.*, 2019; ACHOUR *et al.*, 2023).

Tableau 11: Production mondiale des principales légumineuses alimentaires de 2012 à 2014 (FAO, 2017).

Légumineuse cultivée	Classe	Production moyenne (1000T)
Fève	1	25105.39
Pois chiche	2	12874.638
Pois	3	11016.45
Lentille	4	4814.84
Pois d'Angole	5	4442.97

I.2.3.1 Description morphologique et taxonomie

Les lentilles sont un genre qui comprend six espèces de légumineuses annuelles, dont l'espèce *Culinaris*. Il s'agit de la plus ancienne légumineuse annuelle consommée et cultivée dans le monde, dont les centres d'origine se situent au Moyen-Orient et en Asie occidentale (CHAHOTA *et al.*, 2007; COULIBALY *et al.*, 2020).

La lentille (*Lens Culinaris Medik*) est une plante dicotylédone de la famille des fabacées (Fig.5), également connue sous le nom de légumineuses, elle est diploïde ($2n=14$). Cette plante annuelle est largement cultivée pour ses graines comestibles, riches en protéines et en glucides. La lentille est une plante autonome dont on consomme la graine. Sa tige est mince, rarement plus haute que 45 cm, elle continue de croître indéfiniment dans des conditions optimales de température. Les graines de lentilles germent en 5 à 6 jours et la floraison survient entre la 6ème et la 7ème semaine après le semis (CAMARA *et al.*, 2018; NANA *et al.*, 2020).



Figure 5: Plante de lentille (HEUZE et al., 2015).

L'espèce de lentille *Lens culinaris* comprend une sous-espèce cultivée (*Lens culinaris* Medik. subsp. *culinaris*) et 3 sous - espèces sauvages (HEUZE et al., 2015). La sous - espèce cultivée *Lens culinaris* subsp. *culinaris* est divisée en deux groupes de cultivars: **Macrosperma**: groupe de lentilles à grandes graines, principalement cultivées en Europe, Afrique du Nord et en Amérique. **Microsperma**: groupe de lentilles à petites graines, cultivées en Asie, en Egypte et en Ethiopie.

En terme de taxonomie (CARTON et al., 2019; DERDAR et al., 2020), la classification classique des lentilles se présente comme suit (Tab.12):

Tableau 12: Classification taxonomique de la lentille.

Règne	Plantae
Sous-règne	Tracheobionta
Division	Magnoliophyta
Classe	Magnoliopsida
Sous-classe	Rosidae
Ordre	Fabales
Famille	Fabaceae
Genre	<i>Lens</i>
Espèce	<i>Lens culinaris</i>

I.2.3.2 Composition biochimique

Les lentilles représentent une part importante de l'alimentation humaine en raison de leurs propriétés nutritionnelles (Tab.13) souhaitables et intéressantes, car elles constituent une importante source riche en protéines (22,8-24,1 %) pour la majeure partie de la population

mondiale en raison de leur accessibilité et de leur prix abordable, en particulier à la lumière du manque de consommation de protéines vitales. C'est une excellente source des glucides (49,3-50 %), des fibres alimentaires, des vitamines (B9) et de minéraux (1,4-3,9 %) (Potassium, de fer, de phosphore, de calcium...) (RIO., 2017).

Tableau 13: Composition chimique (g/100g) de lentilles (NANA *et al.*, 2000).

Protéines	Lipides	Glucides	Fibres	Minéraux
25,6	1,60	60- 62	30,5	2,67

I.2.3.2.1 Protéines

Les lentilles offrent une alternative nourrissante à la viande en tant que source riche en protéines végétales, favorisant ainsi la variété dans l'alimentation. Elles sont surnommées "la viande du pauvre" pour leur disponibilité aisée et leur prix abordable, ce qui en fait une ressource alimentaire précieuse dans les régions à faible revenu (KHERIF *et al.*, 2022).

Selon GUILLIN, (2021) et LEFEVRE, (2022), les protéines de lentilles sont riches en acides aminés essentiels tels que l'acide glutamique, l'acide aspartique, l'arginine, la leucine et la lysine (Tab. 14).

Tableau 14: Profil en acides aminés essentiels des protéines de lentilles (COULIBALY *et al.*, 2022)..

Acides aminées	Teneur en mg
Acide aspartique	3160
Glutamique	4490
Alanine	1290
Arginine	2240
Cystine	250
Glycine	1300
Histidine	710
Isoleucine	1190

I.2.3.2.2 Fibres alimentaires

Les lentilles sont extrêmement riches en fibres alimentaires, offrant près de 40 % de la valeur nutritionnelle recommandée par portion de 100 g (FEILLET, 2022). Etant à la fois une source de fibres insolubles, provenant des téguments et des parois végétales, et de fibres solubles, présentes dans les parois végétales et le contenu intracellulaire (BOUCHAIR et BOURAD, 2016).

I.2.3.2.3 Glucides

Les lentilles sont riches en amidon, constituant la majeure partie de leurs glucides (BOUCHAIR et BOURAD, 2016), avec un rendement en amidon de 47,1 %. Leur faible indice glycémique les rend idéales pour les personnes atteintes de diabète, car elles permettent une digestion lente des glucides, évitant ainsi les pics de glycémie (REMOND et WALRAND, 2017).

I.2.3.2.4 Minéraux

Les lentilles renferment divers minéraux aux valeurs variées (Tab. 15) (GUIRROU et al., 2022). Elles sont particulièrement riches en potassium, phosphore et magnésium, avec des niveaux de sodium et de zinc relativement bas. De plus, elles sont une excellente source de fer (BOUCHAIR et BOURAD, 2016).

Tableau 15: Teneur en minéraux pour 100 g de lentilles (BOUCHAIR et BOURAD, 2016).

Minéraux	Teneur pour 100 g
Calcium	65 mg
Cuivre	0,763 mg
Fer	8,0 mg
Magnésium	129 mg
Manganèse	1,5 mg
Phosphore	408 mg
Potassium	837 mg
Sodium	6,6 mg
Zinc	3,4 mg

I.2.3.2.5 Vitamines

La lentille offre toutes les vitamines du groupe B, à l'exception de la B12, aussi, elle contient la vitamine B9, cruciale pour le fonctionnement du système nerveux (REMOND et WALRAND, 2017; SOUARE, 2022). Elle compte également des niveaux appréciables de vitamines B₂, B₃ et B₅ (Tab. 16), et contribue de manière plus modeste à l'apport en vitamine E (BOUCHAIR et BOURAD, 2016).

Tableau 16: Teneur en vitamines pour 100 g de lentilles (COULIBALY et al., 2022).

Vitamines	Teneur pour 100 g
Vitamine B1	0,48 mg
Vitamine B2	0,265 mg
Vitamine B3	0,5 mg
Vitamine B5	1,6 mg
Vitamine B6	0,55 mg
Vitamine B9	0,168 mg
Vitamine C	7 mg
Vitamine E	0,26 mg

I.2 Maladie cœliaque et régime sans gluten

I.2.1 Définition

La maladie cœliaque est une entéropathie chronique immuno-dépendante affectant l'intestin grêle chez les enfants et les adultes génétiquement prédisposés (LEPERS et al., 2004; BOUTRID et al., 2021; BONAZ, 2023), induite par l'ingestion de nourritures contenant du gluten. Connue aussi sous les noms de: sprue cœliaque, entéropathie au gluten ou sprue non tropicale (LUDVIGSSON et al., 2015).

Elle se traduit par une atrophie de la muqueuse du grêle proximal (Fig.6), induisant des troubles digestifs, entraînant diverses carences nutritionnelles, accompagnés de troubles en dehors du tractus gastro-intestinal. Dans ce cas, l'organisme sécrète des anticorps qui endommagent ses propres cellules, notamment celles du tube digestif (BOUMEDINE et ATTAR, 2022). Cependant, elle devient régressive après exclusion alimentaire du gluten de blé et des prolamines équivalentes des autres céréales réputées toxiques pour les malades cœliaques (CLOT et al., 2001; MALAMUT et CELLIER, 2013; IDIR, 2020).

L'exclusion totale et définitive du gluten est à la base du traitement de la maladie cœliaque. Le gluten étant principalement retrouvé dans le blé, le seigle et l'orge, ces céréales et leurs sous-produits doivent être éliminés de l'alimentation des cœliaques (**FARRELL et KELLY, 2002**).

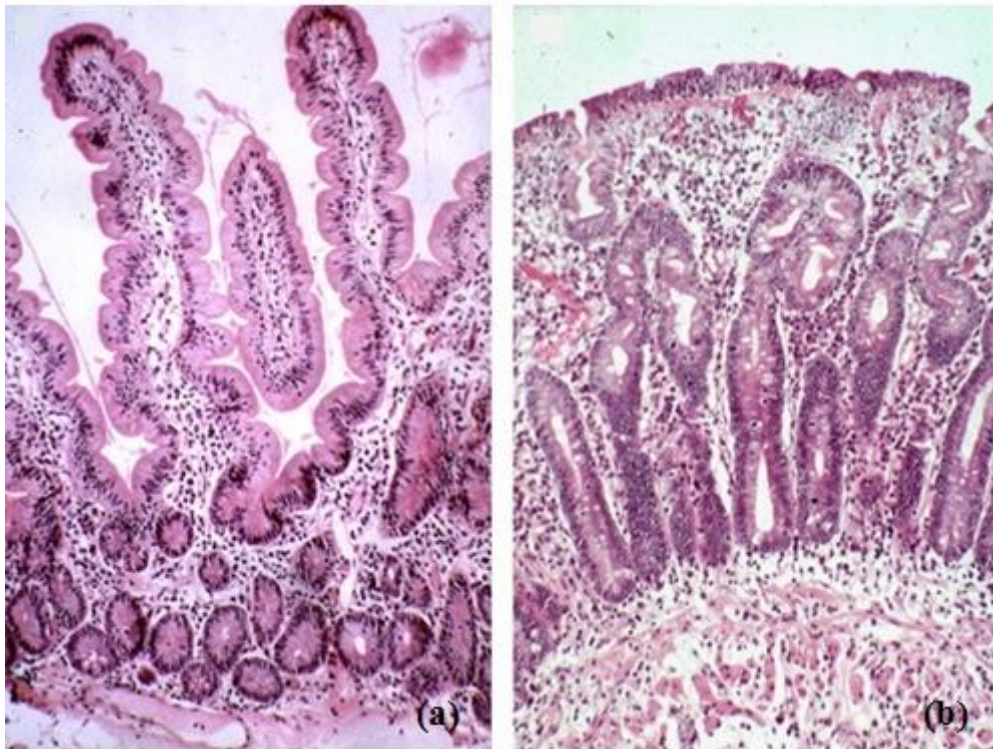


Figure 6: Atrophie villositaire totale de la muqueuse intestinale dans la maladie cœliaque.

(a) Muqueuse normale, (b) Atrophie villositaire totale (**CLOT et al., 2001**).

I. 2.2 Epidémiologie et prévalence

La maladie cœliaque évolue de façon spectaculaire, passant d'une affection pédiatrique rare à une affection courante touchant des personnes de tous âges (**IDIR, 2020**) à cause des facteurs environnementaux comme, le changement soudain dans les habitudes alimentaires, la propagation d'épidémies et surtout la consommation des céréales de plus en plus toxiques fortement recommandées (**LIONETTI et CATASSI, 2011**). Néanmoins, et en raison de l'évolution des méthodes de diagnostic et des études épidémiologiques, la MC est mieux décrite maintenant. Sa prévalence globale est de 1 %. Cependant, il existe des variations entre les populations. En Europe, la prévalence est de 2 % en Finlande, 1,2 % en Italie, 0,9 % en Irlande du Nord et de 0,3 % en Allemagne. Aux Etats-Unis, le taux de prévalence augmente de manière significative, passant de 0,5 % à 1,5 % en 2000 (**GREEN et JABRI, 2003**). Des taux de prévalence similaires sont observés en Afrique du Nord (0,53 % en Égypte, 0,6 % en

Tunisie et 0,79 % en Libye), en Inde (0,7 %) et au Moyen-Orient (0,88 % en Iran et 0,6 % en Turquie) (BAI, et *al.*, 2012; TORJMEN et *al.*, 2019; EL BADMOUSSI, 2022).

Selon, SCHLIENGER, (2020), la maladie cœliaque touche au moins 0,30 % de la population (200 000 sujets, dont seules 50 000 personnes sont diagnostiquées). Sous sa forme Symptomatique, elle touche préférentiellement les nourrissons ou les enfants par rapport aux personnes âgées.

La séroprévalence MC est la plus élevée en Asie (1,8 %), et la plus faible en Afrique (1,1%) (Fig. 7) ou la prévalence de type HLA-DQ2 en Afrique subsaharienne est nettement inférieure à celle de l'Afrique du Nord (LIONETTI et CATASSI, 2014).



Figure 7: Taux de séroprévalence de la maladie cœliaque dans certains pays (CELLIER, 2023).

I. 2.3 Symptômes

Les symptômes cliniques de la maladie cœliaque sont nombreux, mais beaucoup de patients n'ont que peu ou pas de symptômes gastro-intestinaux (CICLITIRA et MOODIE, 2003; FASANO et CATASSI, 2012), tout en présentant des symptômes extra-intestinaux tels que la dermatite herpétiforme, l'anémie, l'ostéoporose, l'infertilité et des problèmes neurologiques, ce qui a conduit certains spécialistes à affirmer qu'il est donc plus approprié de considérer la MC comme un trouble multi systémique plutôt que comme un trouble gastro-intestinal.

Le syndrome de malabsorption comprimé prend des formes différentes selon l'âge auquel il est diagnostiqué. En effet, le syndrome de malabsorption pédiatrique entraîne un retard de croissance. La forme la plus classique chez l'enfant est associée généralement à une diarrhée chronique, faiblesse et malabsorption. Lorsque la croissance ralentit, la maladie est considérée comme un syndrome de malabsorption chronique. Chez les enfants plus âgés, la maladie peut être moins symptomatique, avec un retard de puberté, une anémie et des anomalies de l'émail dentaire (CELLIER, 2002 ; BENKEBIL et NYDEGGER, 2007). Chez les adultes, les formes atypiques au moins symptomatiques sont plus fréquentes (BOUMEDINE et ATTAR, 2022).

I.2.3.1 Formes de la maladie

Les patients diagnostiqués atteints de MC (Tab.17), présentent divers signes et symptômes allant du simple inconfort, à une maladie intestinale puis à une maladie hépatique grave (KAUKINEN et *al.*, 2002) et à une neuropathie (COSNES et NION-LARMURIER, 2013). Son incidence semble en augmentation, en partie liée au meilleur dépistage des formes atypiques ou silencieuses (OLIVES, 2013) et lié aussi à d'autres formes telles que: la forme latente et la forme réfractaire (Tab. 17).

Tableau 17: Formes de la maladie cœliaque (DOS SANTOS et LIOTE, 2016).

Formes		Caractères
Forme symptomatique, regroupant deux types de formes	Forme typique	Maladie se manifestant sous forme d'une entéropathie sévère avec un syndrome de malabsorption et des signes cliniques classiques (diarrhée, ballonnement abdominale...) (CELLIER, 2006).
	Forme Atypique	Elles représentent la majorité des patients diagnostiqués chez l'adulte, soit plus de 80% des cas. Le diagnostic de la maladie cœliaque peut être évoqué par des symptômes digestifs, ou des symptômes extra-digestifs (CELLIER, 2006)
Forme asymptomatique –Silencieuse		L'utilisation des marqueurs sérologiques a

	<p>permis d'identifier des formes silencieuses de maladie cœliaque jusqu'alors méconnues. Elles se définissent comme des maladies cliniquement asymptomatiques malgré une atrophie villositaire totale ou subtotale sur les biopsies duodénales (LEPERS et al., 2004).</p>
Forme latente	<p>Leur définition reste controversée. Pour Ferguson, les « cœliaques latents » sont des sujets asymptomatiques ayant des anticorps circulants associés à la maladie cœliaque, présentant une hyperlymphocytose intra-épithéliale sur les biopsies duodénales, qui peuvent développer une authentique maladie cœliaque lors de l'exposition prolongée au gluten. (RAWASHDEH et al., 1996., LEPERS et al., 2004)</p>
Forme réfractaire	<p>Caractérisée par la persistance d'un syndrome de malabsorption et d'une atrophie villositaire après un an de régime sans gluten strict (ROSTOM et al., 2006; SCHMITZ, 2013; SCHMITZ et GARNIER, 2008).</p>

I. 2.4. Diagnostic

Le diagnostic de la maladie repose principalement sur la recherche d'auto-anticorps tels que les anti-transglutaminases, confirmé par une biopsie intestinale (**EL BADMOUSSI, 2022**). La maladie cœliaque n'est pas toujours facile à diagnostiquer. Elle repose sur une combinaison de données cliniques, biologiques (anticorps) et histologiques (**TKOUB, 2008**). Le diagnostic est plus facile à établir chez un patient exposé au gluten, car un régime sans gluten neutralise les anticorps et normalise les biopsies (**VAUQUELIN et RIVIERE, 2023**).

Ainsi, le diagnostic est réalisé selon l'identification de modifications histologiques de la muqueuse de l'intestin grêle. Les lésions typiques de la maladie cœliaque sont produites dans l'intestin grêle proximal, les modifications histologiques sont une atrophie villositaire, hyperplasie des cryptes et lymphocytose intra épithéliale (SETTY et *al.*, 2008).

Les changements histologiques de la maladie cœliaque sont classés comme suit (Fig. 8): (Type 0 ou stade « pré-infiltrant » (normal); Lésion de type 1 ou « infiltrant » (augmentation des lymphocytes intra épithéliaux); Lésion de type 2 ou « hyperplasique » (type 1 + cryptes hyperplasiques); - lésion de type 3 ou « destructrice » (type 2 + atrophie villéitaire de degrés non progressifs plus sévères, dénommée 3a, 3b et 3c (SETTY et *al.*, 2008)

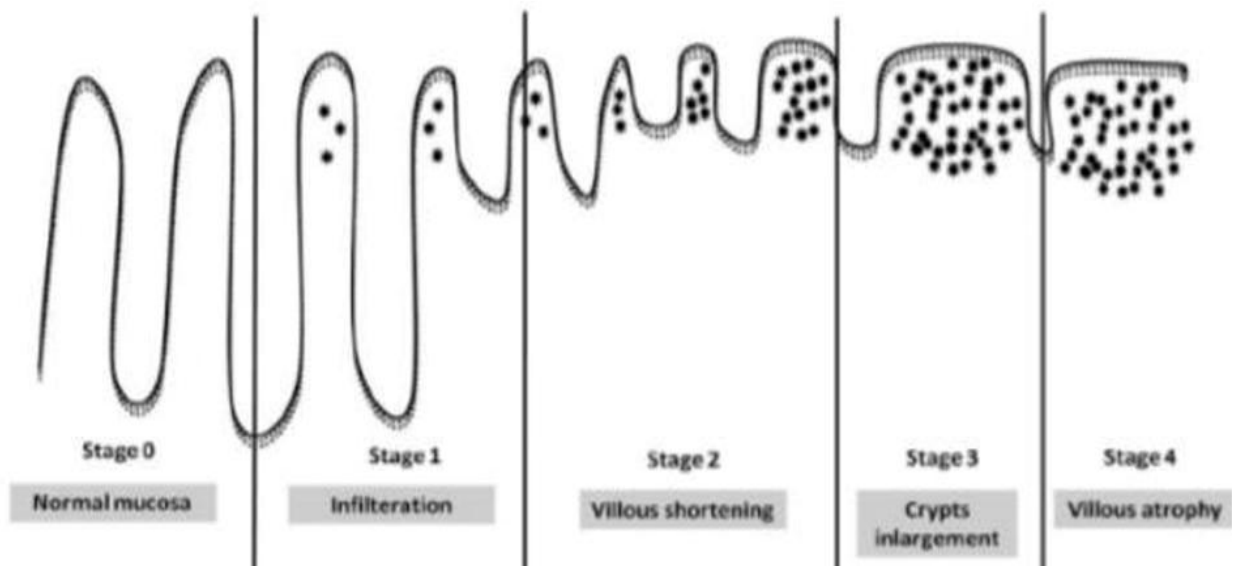


Figure 8: Etapes de l'atrophie villositaire de la maladie cœliaque (GODAT, 2013).

Les méthodes de diagnostic ont évolué au cours des dernières décennies en raison de meilleure compréhension de la pathogenèse de la MC et disponibilité des tests, test sérologiques plus sensibles et spécifiques. En résumé, le protocole de diagnostic comprend les éléments suivants:

- ✓ Antécédents cliniques et symptômes;
- ✓ Tests sérologiques;
- ✓ Résultats histologiques sur la biopsie de l'intestin grêle;

✓ Réponse clinique et sérologique (éventuellement histologique) au régime sans Gluten (BONAZ, 2023).

I. 2.5 Définition du gluten

Au sens strict du terme, le gluten (du latin, colle) est une substance protéique élastique et visqueuse restante après extraction de l'amidon du blé par voie humide (LUCAS, 2019). Il est en réalité un mélange complexe de nombreuses protéines distinctes, principalement la gliadine et la gluténine. Des protéines de stockage semblables existent dans d'autres céréales, telles que la secaline dans le seigle, la hordeine dans l'orge et les avenins dans l'avoine, regroupées sous le terme commun de gluten (PORTE, 2017).

Le gluten est donc une protéine combinée à l'amidon, composant la plupart des céréales et responsable de l'élasticité de la pâte. Il constitue la majeure partie des protéines (80 %) qui sont insoluble dans l'eau après l'extraction de l'amidon (BIESIEKIERSKI, 2017; EI BADMOUSSI, 2022). Seules les protéines du blé, de l'orge, du seigle et de l'avoine sont toxiques pour les personnes intolérantes au gluten (Fig. 9).

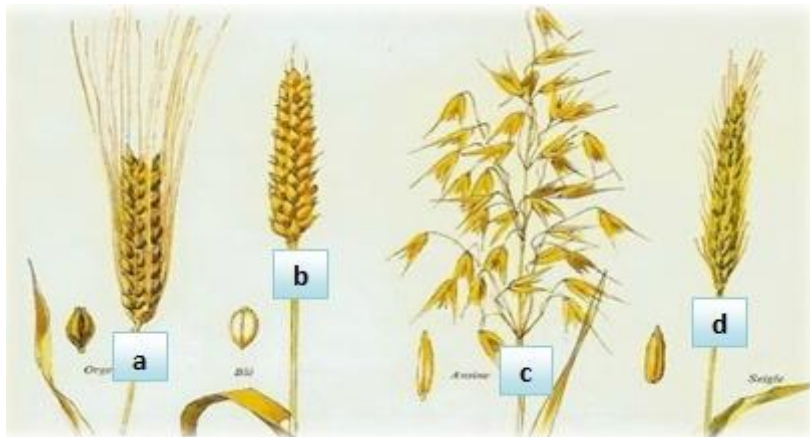


Figure 9: a) Orge, b) Blé, c) Avoine et d) Seigle (EI BADMOUSSI, 2022).

Le gluten est constitué des deux types de protéines les prolamines et les gluténines qui stockent les oligo-éléments. Les protéines de la famille des prolamines sont responsables de l'intolérance au gluten et de la MC.

Les protéines de gliadines, les prolamines présentes dans le blé, ont fait l'objet d'étude approfondies quant à leur toxicité pour les patients atteints de la maladie cœliaque. Leur toxicité est due non seulement à leur teneur en acides aminés à fonction amide (glutamate et aspartate), mais aussi à leur teneur en proline (EI BADMOUSSI, 2022).

I. 2.6 Traitement: régime sans gluten et équilibre alimentaire

D'après les études, le moment est venu pour consacrer plus d'attention aux problèmes concernant le suivi correct de la maladie cœliaque, non seulement la conformité au régime, mais également l'équilibre alimentaire du régime lui-même (FAYAT *et al.*, 2011).

Le traitement actuel repose principalement sur un régime strict sans gluten à vie (HADI et SBIHI, 2014; VAUQUELIN et RIVIERE, 2023). Il est donc conseillé de cesser de consommer du blé, du seigle, de l'orge et toute autre céréale potentiellement contaminée par le gluten lors de la récolte, du stockage ou de la transformation ultérieure (VAUQUELIN et RIVIERE, 2023). Pour concilier un régime sans gluten et un bon équilibre alimentaire, il est indispensable de varier l'alimentation (MALAMUT, 2012). Heureusement, il existe de nombreux aliments naturellement exempts de gluten: riz, maïs, légumineuses, lait et produits laitiers, viande, poisson, huiles et graisses, qui permettent donc de s'alimenter de façon équilibrée et diversifiée.

BONAZ, (2023), estime que pour les personnes atteintes de la maladie cœliaque, l'ajout d'avoine pure, non contaminée à un régime contenant du gluten améliore l'appétence et la nutrition (fibres solubles, huile polyinsaturée, vitamines B, fer et thiamine). Ces personnes tolèrent jusqu'à 10 mg de gluten par jour. Une croissance et un développement normal peuvent être obtenus grâce au RSG et doivent être les objectifs du suivi des enfants atteints de la maladie cœliaque (ADMOU *et al.*, 2021).

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 cette maladie un régime sans gluten peut être équilibré et peut fournir tous les nutriments nécessaires pour un régime équilibré, pour la majorité des adultes et des enfants (SCHMITZ, 2013). Le régime doit inclure 2 à 4 portions de fruits, 3 à 5 portions de légumes, 6 à 11 portions de grains sans gluten et 3 à 4 portions de produits laitiers. Un régime contenant tous ces groupes d'aliments aide à fournir les nutriments nécessaires au bon développement de l'organisme (BOUTELOUP, 2016).

I. 2.7 Problèmes engendrés par le régime

Selon BONAZ, 2023, la gestion de la maladie cœliaque confirmée est le régime sans gluten pendant toute la vie. Tandis que ceci semble comme un traitement simple, il est souvent difficile que les patients se conforment à cette restriction diététique. Son application est contraignante et constitue un véritable défi pour les malades ainsi que pour les parents,

diététiciens et médecins qui les suivent. Les facteurs contribuant à l'insoumission incluent le manque des aliments sans gluten facilement disponibles, en particulier en mangeant hors de la maison, le goût moins acceptable des produits sans gluten et les difficultés liées à la préparation des plats avec les ingrédients sans gluten (MATUCHANSKY *et al.*, 1999; CEGARRA, 2006; BESANCENOT et DEVILLIERS, 2012).

. D'après les statistiques, le régime sans gluten est principalement responsable de la perte d'appétit (84 %), la non fréquentation des restaurants (67 %). Environ, 8 % à 15 % des patients déclarent que le régime sans gluten entraîne une perte de familiarité et des problèmes psychologiques (BOUKEZOULA et ZIDOUNE, 2016; FRIGERIO, 2019).

Selon ZRIOUEL (2021), le régime sans gluten peut avoir un impact négatif sur la qualité de la nutrition des personnes atteintes de la maladie cœliaque. Une étude a révélé que 72 % des adolescents italiens strictement conformes à ce régime sont en surpoids et ont une alimentation déséquilibrée. Leur régime alimentaire est souvent riche en graisses et en protéines, mais pauvre en glucides, en calcium, en fer et en fibres. Aux Pays-Bas, les informations sur l'apport nutritionnel et le respect du régime par les jeunes atteints de la maladie cœliaque sont limitées. Par conséquent, il est crucial d'évaluer la gestion nutritionnelle et l'état nutritionnel des personnes âgées de 12 à 25 ans qui suivent un régime sans gluten, car cette tranche d'âge présente une faible conformité au régime.

I.2.8 Prévention

Il n'existe actuellement aucune mesure définitive pour la prévention primaire de la maladie cœliaque basée sur le moment de l'introduction du gluten dans l'alimentation du nourrisson ou sur la durée de l'allaitement (VRIEZINGA *et al.*, 2015). Des études contrôlées randomisées n'ont pas réussi à montrer que la tolérance au gluten peut être induite en introduisant de petites quantités de gluten dans l'alimentation (ou en retardant l'introduction de gluten au-delà de 12 mois) (FRIGERIO, 2019; LOGAN *et al.*, (2021); MOUSLIH *et al.*, 2023). De ce fait, la détection et le traitement précoces sont les méthodes les plus efficaces pour la prévention secondaire de la maladie cœliaque (RUCH *et al.*, 2019).

Dans le débat sur l'amélioration de la détection des maladies liées au gluten, certains experts ont suggéré de soutenir des politiques agressives de dépistage sérologique de la maladie cœliaque dans la population générale plutôt que de rechercher les cas à haut risque (CATASSI et FASANO, 2014; LUDVIGSSON *et al.*, 2015). Les chercheurs explorent

donc de nouvelles avenues pour prévenir et traiter la maladie cœliaque, face à son augmentation prévalent et aux défis du régime sans gluten.

Pour les nourrissons, plusieurs hypothèses sont étudiées à grande échelle (**BOUMEDINE et ATTAR, 2022**);

- **Hypothèse 1:** Le rotavirus (une infection virale du tractus gastro-intestinal transmise par voie fécale-orale) présente des similitudes structurelles avec la gliadine et peut donc favoriser l'apparition d'une MC. Il provoque de graves problèmes gastro-intestinaux et endommage les intestins. La vaccination contre le rotavirus peut être envisagée pour tous les nourrissons ayant un lien de parenté au premier degré avec un patient cœliaque et/ou pour les porteurs HLA prédisposés à la maladie cœliaque.

- **Hypothèse 2:** Les enfants nés en automne sont considérés comme ayant un risque accru de développer la maladie cœliaque en raison de l'augmentation des infections intestinales chez les bébés nés à cette période. Les couples porteurs des gènes de prédisposition peuvent envisager de planifier les naissances de leurs enfants pendant les mois d'été pour réduire ce risque.

- **Hypothèse 3:** Les médicaments tels que l'Oméprazole, qui sont des inhibiteurs de la pompe à protons et réduisent la sécrétion d'acide gastrique, peuvent entraver la digestion des protéines, y compris le gluten, ce qui favoriserait le développement de la maladie cœliaque. Par conséquent, l'utilisation d'IPP est déconseillée chez les enfants ayant un lien de parenté au premier degré avec une personne atteinte de MC et/ou chez ceux porteurs des HLA associés à la prédisposition génétique à la maladie cœliaque.

Pour les proches de personnes atteintes de la maladie cœliaque, il est vivement recommandé de subir un test HLA. En cas de résultat positif, ces individus présentant une prédisposition génétique sont encouragés à suivre un contrôle régulier et un régime sans gluten.

I.3 Technologie biscuitière

I.3.1 Définition et historique

Les biscuits sont des produits de boulangerie consommés dans le monde entier (**ŽIGMUND, 2023**). Leur longue durée de conservation, la diversité de goûts et textures ainsi que leur praticité font qu'ils sont particulièrement appréciés par les consommateurs. Le nom « biscuit » dérive du latin « bis coctus » qui signifie « deux fois cuit » (**ALVAREZ-JUBET et al., 2010**). A ses débuts, le biscuit étant en effet une sorte de galette nécessitant une première cuisson, puis un passage dans des compartiments au-dessus du four ou dans une

étuve pour terminer l'évaporation de son humidité (**KIGER et KIGER, 1967; SAVOYE et al., 1992; KAOUANE, 2022**). Cette double cuisson n'est plus pratiquée actuellement en biscuiterie. Selon **KIGER et KIGER (1967)**, le terme biscuit est attribué à un aliment à base de farines alimentaires, de matière sucrantes, de matière grasse, et de tous autres produits alimentaires, parfums et condiments autorisés, susceptibles, après cuisson de conserver ses qualités organoleptiques et commerciales pendant une durée supérieure à un mois, et pouvant dépasser une année (biscuiterie sèche) ou un temps limité en fonction d'un débit régulier assez rapide.

La définition principale d'un biscuit, selon le Dr Samuel Johnson, c'est « une pâtisserie dure et sèche conçue pour être transportée dans l'eau ». Les Britanniques définissent un « biscuit » comme un produit comprenant des articles tels que des crackers, des biscuits et des gaufrettes. Les Britanniques sont les premiers à fabriquer les cookies (**MANLEY, 2011**).

De nos jours, la production de biscuits est passée d'une industrie artisanale à forte intensité de main-d'œuvre à une industrie scientifique, fortement automatisée (**ZHOU et al., 2014**). Dans le monde moderne, les biscuits servent d'aliment de base, de cadeaux haut de gamme, de confiseries et d'aliments de nourrissants (**AREPALLY et al., 2020**).

Les biscuits (**Fig. 10**) sont une collation idéale pour le style de vie moderne car ils sont abordables, riches en énergie, pratiques et très savoureux. Ils sont des produits à base de céréales cuits dont l'humidité est inférieure à 5 % (**RODRIGUEZ-GARCIA et RAGHAVAN, 2022**). En utilisant la farine de blé, le sucre et la graisse comme ingrédients principaux (**MAMAT et HILL, 2018**).



Figure 10: Différents types de biscuits (**DI CAIRANO et al., 2022**)

I.3.2. Classification

Les biscuits sont présentés sous plusieurs formes, avec des goûts sucrés ou salés. Ces produits sont formulés pour différents publics cibles, du nourrisson aux personnes âgées, en passant par les personnes aux besoins particuliers comme pour les biscuits sans gluten.

En raison du large éventail de méthodes de production et de la variété des composants utilisés dans diverses fabrications, il n'existe pas de classification officielle pour les biscuits. Cependant, celle-ci est envisagée sur la base de la consistance de la pâte avant cuisson (**KIGER et KIGER, 1967; MOHTEDJI-LOMBALAIS, 1989; FEILLET, 2000; HU et al., 2022**).

Plusieurs facteurs peuvent influencer la qualité des biscuits tels que la qualité et le niveau des ingrédients utilisés, les conditions de fabrication telles que le pétrissage, le repos et le moulage de la pâte, et enfin la cuisson et le refroidissement des biscuits (**MAACHE-REZZOUG et al., 1998 ; MANOHAR et RAO, 2002**).

Selon le **Programme National de Nutrition Santé (PNNS), (2007)**, les biscuits sont surtout classés en fonction de leur activité en eau (aw). Donc, trois catégories sont citées:

- Les biscuits secs: activité d'eau comprise entre 0.05 et 0.5, dans cette catégorie se trouve les biscuits sucrés et gouters;
- les biscuits à humidité intermédiaire: aw comprise entre 0.55 et 0.85. Dans cette catégorie se trouvent les biscuits aux œufs (boudoirs, cuillers,...) et les gaufrettes qui représentent 5% et les biscuits chocolatés et assortiments représentant 30% ;
- Les pâtisseries (produits humides): aw supérieure à 0.8 - 3. Les pâtes ayant une forte teneur en lait ou en eau et contenant peu de matières grasses. Ce sont les pâtes à gaufrettes (10.5 % de la consommation) (**MANOHAR et RAO, 2002; CANTELE et al., 2022**).

I.3.3 Composition et valeur nutritionnelle

Les biscuits sont des produits alimentaires très appréciés, notamment des enfants et adolescents, leurs compositions et valeur nutritionnelle varient en fonction de la marque, du type de biscuit et ingrédients utilisés (**Tab.18**).

Ce sont des aliments composés de trois matières premières principales: la farine (ingrédient principal qui représente jusqu'à 80 % des ingrédients selon les recettes, la moyenne d'ingrédients céréaliers étant de 41 %), les matières sucrantes et les matières grasses (**DENIS, 2011**). Ils existent aussi d'autres ingrédients tels que: les œufs, les agents levants

(levure chimique), les arômes et additifs pouvant inclure les extraits de vanille, les pépites de chocolat, les fruits secs, etc., pour ajouter de la saveur.

Il est important de noter que les biscuits sont souvent considérés comme des aliments riches en glucides (49,1g à 73g) et en matières grasses de (7g jusqu'à 19.5g), mais faibles en nutriments essentiels tels que les fibres (2g à 3,3 g), et la teneur en protéines (5,2 g à 11,8g) (VODOUCHE-EGUEH *et al.*, 2017).

Tableau 18: Valeur nutritionnelle moyenne de quelques biscuits (DENIS, 2011).

Nutriments (g/100g)	Biscuit Barquette pulpe de fruit	Biscuit chocolaté	Biscuit Petit beurre	Biscuit sec	Biscuit à la Cuillère	Biscuit au Fromage	Biscuit sans Fromage
Protéines	5,2	6,9	8,2	9	9	11,8	4,8
Glucides	73	60,4	75	69,2	60	49,1	62,9
Lipides	7	24	10,9	12	4,4	28,1	19,6
Fibres	2	3,1	2,2	3,2	---	3,1	3,3

I.3.4 Principaux ingrédients et leurs effets

Selon GALLAGHER, (2008); SHEN *et al.*, (2019) et SAHIN *et al.*, (2023), les trois ingrédients de base pour la fabrication des biscuits sont: la farine, la matière grasse et le sucre, les différentes combinaisons de ses ingrédients donnent naissance à un large éventail de produits avec de formes et de textures diverses. Chaque ingrédient a un effet unique sur la saveur, la texture, la couleur et l'arôme des biscuits. De plus, le type et la quantité d'ingrédients influencent la qualité du produit fini (GALLAGHER, 2008; HU *et al.*, 2022).

I.3.4.1 Farine

La farine de blé reste la matière première principale de ce secteur. Elle constitue un élément clé de la qualité des produits de biscuiterie. C'est par exemple le cas des biscuits secs et des goûters, qui représentent la plus importante des références biscuitières, dont la farine représente plus de 60 Kg par 100 Kg de biscuit (MOHTADJI-LAMBALAI, 1989; MENARD *et al.*, 1992 ; COURTOIS *et al.*, (1997 ; FEILLET, 2000).

Elle est responsable de la structure finale du produit. Son utilisation très répandue est liée à la capacité de la pâte à retenir le gaz permettant ainsi son expansion lors de la cuisson

(NGUYEN, 2015). La farine est un composé complexe comportant différents constituants (protéines, lipides, glucides...) qui jouent un rôle direct ou indirect dans la structuration et l'aération de la pâte.

La valeur biscuitière d'une farine se juge d'après son aptitude à donner une pâte machinable, qui selon **KIGER et KIGER 1967**, résiste à un certain degré de brisure et pouvoir s'étendre en couche minces sans se casser ou craqueler à la surface, en donnant un produit fini de qualité. Certains facteurs intrinsèques à la farine comme les protéines ont une influence quantitativement et qualitativement importante sur la qualité du produit fini. Pour une farine biscuitière, la teneur en protéines doit être comprise entre 7.5 % et 10 % (**MENARD et al., 1992 ; COLAS, 1998 ; FEILLET, 2000**). Quand celle-ci est mélangée avec de l'eau, ses composants protéiques forment un réseau élastique capable de piéger les gaz et de développer une structure solide et cassante pendant la cuisson (**VODOUCHE-EGUEH et al., 2017**).

Généralement, les farines utilisées pour la fabrication des biscuits sont obtenues après la mouture des graines de blé tendre, avec une faible teneur en amidon endommagé (**GALLAGHER, 2008**).

L'élimination du gluten pose un problème majeur pour les boulangeries. Cependant, le développement du réseau glutineux dans les pâtes biscuitières est minime et indésirable (sauf pour certains biscuits "semi-sweet" qui peuvent avoir un système glutineux développé); la texture des biscuits après cuisson est due à la gélatinisation de l'amidon et au refroidissement du sucre plutôt que la structure protéine/amidon (**GALLAGHER, 2008**).

I.3.4.2 Matière grasse

La matière grasse est un ingrédient très important dans la fabrication des biscuits. Elle est généralement de nature semi-solide à température ambiante pour qu'elle se mélange bien et sans problème avec les autres ingrédients. Elle contribue à la plasticité de la pâte, joue le rôle d'un lubrifiant et influe la machinabilité de la pâte, et les qualités texturales et gustatives du biscuit après cuisson. La capacité de la matière grasse à disperser les constituants du mélange est due à l'insolubilité dans l'eau de cette matière (**MAACHE-REZZOUG et al., 1998**).

La principale fonction de la matière grasse est la fabrication des produits plus tendre. Elle lubrifie la structure en se dispersant dans la pâte durant le pétrissage ce qui empêche la formation du réseau glutineux, résultant en une matrice moins élastique. La formation de ce réseau glutineux est inhibée si la matière grasse couvre la farine avant qu'elle s'hydrate. Après

cuisson les propriétés organoleptiques désirées pour ces produits se caractérisent par une texture moins dure, une tendance à se fondre dans la bouche (**BOLDUC et al., 2006**).

Pour cela, la consistance désirée de la pâte peut être obtenue en augmentant la teneur en matière grasse tout en diminuant la teneur en eau. En grande quantité, l'effet lubrifiant de cet ingrédient est tellement grand que peu d'eau est nécessaire pour l'obtention d'un niveau faible de la consistance. Cependant, il faut noter que l'effet de la matière grasse sur la pâte et la qualité du biscuit n'est pas seulement fonction de sa composition mais aussi de celle de la farine et ses lipides natives (**FUSTIER, 2009**).

Bien que la graisse joue un rôle important dans les produits de boulangerie, leur consommation de manière excessive peut entraîner une variété de maladies, telles que l'obésité, le cancer, l'hypercholestérolémie et les maladies coronariennes. De plus, les produits de boulangerie sont l'une des principales sources d'acides gras trans dans l'alimentation. Des études antérieures révèlent que la teneur en acides gras trans des biscuits varie de 0,1 à 3,2 g pour 100 g. Les biscuits au glucose, les biscuits sucrés et les biscuits salés ont la plus faible teneur en acides gras trans (0,1 g /100 g), tandis que les biscuits au beurre ont la plus forte teneur en acides gras trans (17,1 g/100 g). L'Organisation mondiale de la Santé (**OMS**) recommande de limiter l'apport en gras trans à moins de 1 % de l'apport énergétique total (**HU et al., 2022**).

I.3.4.3 Sucre

Le sucre est le troisième élément important dans la fabrication des biscuits. Il représente de 15 % à 25 % dans la formule d'un biscuit sec, et plus de 25 % en pâtisserie industrielle. Le saccharose, ajouté à l'état cristallin, est le plus employé. En plus de son pouvoir sucrant, il contribue à la formation des arômes, de la texture, de la coloration et à la conservation des biscuits. Il a également une fonction plastique (**FEILLET, 2000**).

MAACHE-REZZOUG et al., (1998) affirment que le sucre a une influence remarquable sur le comportement de la pâte en provoquant son ramollissement, dû en partie à la compétition entre le sucre supplémentaire et la farine sur la disponibilité de l'eau dans le système. Après cuisson, le saccharose agit en tant qu'agent durcissant en se cristallisant pendant le refroidissement du biscuit, ce qui donne un produit croustillant (**MAMT et HILL, 2018**). Une augmentation de la concentration en sucre dans la formule crée des liens plus forts entre les particules après cristallisation en donnant un biscuit plus dur, indéformable avec une surface granuleuse (**MENARD et al., 1992; MAACHE-REZZOUG et al, 1998**).

En outre, le sucre joue un rôle important dans le développement de la couleur du biscuit pendant la cuisson. Sa caramélisation à une température supérieure à 149 °C donne la couleur recherchée de la face extérieure du biscuit et permet d'atteindre différentes nuances (MENARD *et al.*, 1992). Enfin, le sucre aide à retarder le rancissement de la matière grasse et la multiplication microbienne dans les biscuits. Ainsi, la haute teneur en sucre d'un biscuit favorise une pression osmotique élevée et diminue l'activité de l'eau, ce qui prolonge la durée de conservation (MENARD *et al.*, 1992).

Cependant et d'après HU *et al.*, (2022), une faible teneur en sucre réduit le ramollissement, la consistance et la cohésion de la pâte, entraînant un froissement et affectant le temps de cuisson. Les variations de la teneur en sucre donnent naissance à deux variétés de biscuits: les biscuits à faible teneur en sucre (17 à 25 %) et les biscuits croquants sucrés contenant environ 25 % à 60 %.

I.3.4.4 Eau

L'eau est un ingrédient important pour la formation de la pâte. Elle hydrate la farine, fournit la mobilité nécessaire à ses constituants favorisant le déroulement des réactions chimiques (NDANGUI, 2015). Agissant comme un agent liant, elle est essentielle pour la formation de la pâte, est nécessaire pour la solubilisation des autres ingrédients, l'hydratation des protéines et les carbohydrates et le développement du réseau glutineux (FUSTIER, 2009; TROADEC, 2023). Elle est aussi un facteur essentiel dans le comportement rhéologique des pâtes (MAACHE- REZZOUG *et al.*, 1998). Une augmentation de la teneur en eau modifie l'élasticité et diminue la viscosité. Cependant, un manque d'eau, rend la pâte fragile à cause de la déshydratation rapide de la surface (FUSTIER, 2009).

I.3.4.5 Autres ingrédients

I.3.4.5.1 Levure chimique

La levure chimique contribue à l'expansion de volume des biscuits, qui se traduit par un dégagement de vapeur (vapeur d'H₂O) et la production de CO₂. Lorsque ce dernier est libéré avant la cuisson, les cellules à gaz gonflées diffusent à travers la pâte et disparaissent en surface (THARRAULT, 1997).

I.3.4.5.2 Œufs

L'œuf est un ingrédient hautement fonctionnel possédant des attributs essentiels à la fabrication des biscuits (FATHI, 2022).

Les œufs sont de bons agents moussant incorporables dans des produits de cuisson. Sous l'effet de la chaleur les protéines des œufs coagulent et ainsi maintiennent une structure de mousse stable (MAKHLOUF *et al.*, 1983).

La coagulation est une propriété importante utilisée dans la fabrication de certains biscuits tels que les cookies car les protéines coagulées de l'œuf permettent de lier les autres ingrédients entre eux et d'accroître la texture moelleuse (FATHI, 2022).

I.3.5 Procédé de fabrication

Les principales opérations de la production de biscuits (Fig.11) sont: le malaxage, pétrissage, laminage, mise en forme (moulage), la cuisson, refroidissement, conditionnement et emballage (SONGRE-OUATTARA *et al.*, 2016).

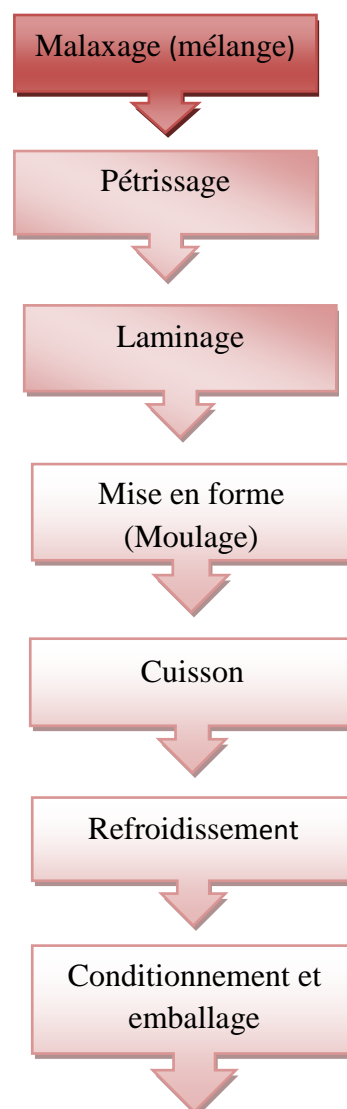


Figure 11: Procédé de fabrication de biscuits (SONGRE-OUATTARA *et al.*, 2016)

I.3.5.1 Malaxage (Mélange)

La première étape dans le processus de préparation des biscuits est le malaxage. Cette opération permet de mélanger le sucre, la matière grasse, les œufs et autres ingrédients afin qu'ils forment une pâte dont la consistance permet la mise en forme du biscuit (SAADOUDI, 2019).

I.3.5.2 Pétrissage

Le pétrissage est une opération aboutissant à la formation d'un produit viscoélastique à partir de deux ingrédients: eau et farine (SONGRE-OUATTARA *et al.*, 2016). Quand l'eau est ajoutée à la farine, elle se répartit d'abord grossièrement, puis le pétrissage oblige l'eau à envelopper chaque particule de la farine et à y pénétrer. En effet, cette eau chasse l'air inclus dans la farine. L'incorporation d'air dans la masse permet à la pâte de se détacher des parois de la cuve du pétrin et elle devient lisse, sèche et élastique (SHARMA et ZHOU, 2011; SAADOUDI, 2019).

I.3.5.3 Laminage

Le laminage est la méthode la plus populaire pour transformer une pâte à biscuiterie en feuille. Il implique la production d'une feuille de pâte épaisse, dont l'épaisseur est réduite en passant par divers lamineurs rotatoires (MANLEY, 1998; MANLEY, 2011).

I.3.5.4 Mise en forme (moulage)

Le moulage est l'étape qui vient après le laminage à l'échelle industrielle, des coupeurs et mouleurs rotatoires gravent et coupent la pâte biscuitière préalablement laminée. Il est évidemment souhaitable que tous les morceaux de pâte aient le même poids et les mêmes dimensions (MANLEY, 1998).

À la fin de cette étape, les biscuits sont déposés sur un plat de cuisson et ils sont transférés au four pour l'étape suivante, la cuisson.

I.3.5.5 Cuisson

La cuisson est une étape complexe au cours de laquelle a lieu une série de transformations physiques, chimiques et biochimiques (NDANGUI, 2015).

Plusieurs réactions physicochimiques se produisent pendant cette étape. Ces modifications sont: Dissolution des sucres (la moitié des sucres se dissolvent lors de pétrissage et le reste, à l'état cristallin, se dissout lors de la cuisson. Ce qui augmente également la fluidité et permet à la pâte de s'étaler), gélatinisation de l'amidon entre 52 et

95°C (CHEVALLIER et *al.*, 2002). En général, l'amidon n'est que partiellement gélatinisé dans les biscuits et ses granules conservent leur intégrité morphologique en tant qu'amidon natif, dénaturation des protéines et enfin formation de dérivés de réaction de Maillard, la caramélisation des sucres et la dextrinisation de l'amidon accompagnent la modification de la couleur de surface et de la génération d'arômes des produits (FUSTIER, 2009).

I.3.5.6 Refroidissement

Après la cuisson au four, la plupart des biscuits sont envoyés directement pour être emballés. Ils sont habituellement refroidis avant l'emballage. Le refroidissement est nécessaires pour les biscuits riches en sucre car ces derniers sont très doux et plastifiants à la sortie de four et se rigidifient quand ils refroidissent. Il y a également une petite perte d'humidité des biscuits qui est bénéfique pour leur qualité et leur durée de conservation (MANLEY, 1998).

I.3.5.7 Conditionnement et emballage

La conservation des biscuits doit s'effectuer à l'abri de l'humidité, parce que ses composants sont sensibles à l'oxydation et aux réactions lumineuses, ils nécessitent un conditionnement approprié (FREDOT, 2005).

I.3.6 Critères d'évaluation de la qualité du biscuit

Les caractéristiques sensorielles des aliments (texture, saveur, arôme, taille et couleur) sont les indicateurs de qualité les plus significatifs. La qualité du biscuit est démontrée par une compréhension minutieuse de ses attributs physiques (dimension, couleur et humidité), apparence de la surface et texture (densité, durabilité et résistance aux bris) (FUSTIER, 2009).

I.3.6.1 Texture

Elle est principalement déterminée par la teneur en humidité, la teneur en matières grasses et la quantité de glucides structurels (cellulose, amidons, pectines, etc.) ainsi que par les protéines déjà présentes, et l'expansion d'un événement important pour la production de texture par les propriétés rhéologiques de la pâte, qui sont déterminées par le comportement et les interactions de ces constituants ainsi que par la solubilité du gaz dans la phase continue. Des expansions importantes entraînent en faibles densités, ce qui crée des biscuits très poreux. Les dimensions physiques du biscuit sont régies par la formation de la structure poreuse dans le four, le poids et la teneur en eau du biscuit, tandis que le principal facteur contrôlant le

poids et la teneur en eau du biscuit est son évaporation pendant la cuisson. La texture est un critère de qualité crucial ou la production d'un maillage doux et flexible est souhaitée (**LARA et al., 2011**).

I.3.6.2 Couleur

La couleur est un facteur déterminant dans la définition de la qualité de tout aliment, et c'est une caractéristique que le consommateur remarque immédiatement et qui influence généralement l'impression sensorielle subjective. Dans le cas des biscuits, la couleur est l'un des paramètres importants qui doivent être contrôlé lors de la transformation (**LARA et al., 2011**).

I.3.6.3 Goût

Les attributs du goût sont le salé, le sucré, l'amère et l'acidité. Les composants volatiles d'arôme sont produits sous l'effet de la chaleur, l'oxydation, l'activité non enzymatique sur les protéines, la matière grasse et les carbohydrates (exemple: réaction de Maillard) (**FELLOWS, 2000; MENASRA, 2020**).

I.4 Technologie des pâtes alimentaires

I.4.1.Définition

Les pâtes alimentaires sont un mélange énigmatique de farine et d'eau (**WAGNER et al., 2009**). Elles sont obtenues en séchant une pâte non fermentée, moins humide que celle utilisée pour faire du pain (**DESSAUX, 2006**).

Les pâtes alimentaires sont largement consommées dans de nombreux pays et occupent la deuxième place après le pain en termes de consommation mondiale (**DESSAUX, 1010**). La simplicité de leur fabrication, leur facilité de transport, leur excellente aptitude à la conservation et au stockage, leur bonne qualité nutritionnelle et hygiénique, la diversité des modes de préparations sont autant d'atouts qui favorisent leur utilisation et leur consommation (**PETITOT et al, 2009; LALEG et al., 2017**).

I.4.2Valeur nutritionnelle

La composition nutritionnelle des pâtes alimentaires cuites est présentée dans le tableau suivant (**Tab.19**). Conformément à la composition de la matière première.

Tableau 19: Valeurs nutritionnelles de farine de légumineuses et des pâtes alimentaires cuites.

Nutriments	Valeur nutritionnelle de farine de légumineuses	Valeur nutritionnelle des pâtes cuites
Fibres (%)	16,5	3,3
Amidon (%)	48,6	0,99
Glucose (%)	72	63
Protéines (%)	28,1	10,1
Histidine (mg)	26,4	26,0
Isoleucine (mg)	46,1	48,8
Leucine (mg)	78,1	83,0
Valine (mg)	52,6	56,5
Lysine (mg)	72,2	68,3
Cystéine + méthionine (mg)	23,3	24,0
Tyrosine+Phénylalanine (mg)	79,0	84,8
Thréonine (mg)	37,9	38,8

I.4.3 Relation entre les pâtes alimentaires et le RSG

Les pâtes faites de semoule de blé dur, sont préparées en hydratant, malaxant, extrudant et séchant la pâte pour obtenir une texture dense (CESSOT, et *al.*, 2014). Leur structure spécifique, formée d'un réseau protéique entourant l'amidon, leur confère un faible indice glycémique et un bon goût (DALMET, 2009). Cependant, elles manquent de certains acides aminés essentiels comme la lysine et peuvent causer des problèmes métaboliques aux personnes intolérantes au gluten (ZRIOUEL, 2021). Les légumineuses riches en protéines et en lysine, offrent une alternative pour produire des pâtes sans gluten, avec un faible indice glycémique (BOURDREZ et CHRKI 2022). Des chercheurs ont créé des pâtes sans gluten à partir de farines de légumineuses, comparant leurs propriétés à celles des pâtes de blé et des pâtes sans gluten du commerce. Cette étude souligne le potentiel nutritionnel des pâtes entièrement faites de légumineuses, particulièrement pour les personnes intolérantes au gluten (BOUMDINE et ATTAR, 2022).

Les légumineuses naturellement exemptes de gluten et riches en protéines, offrent une alternative prometteuse. Elles contiennent de 24 à 28 % de protéines et donc jusqu'à 4 fois plus qu'une céréale, les lentilles en contiennent 25,6 %. De plus elles présentent un profil très intéressant en acides aminés indispensables. En outre, leur teneur élevée en fibres, particulièrement dans le cas des lentilles avec 30,5 % (contre 2 % seulement pour les céréales) (LALEG *et al.*, 2017; BOURDREZ et CHRIFI 2022).

I.4.4 Processus de fabrication

Les pâtes alimentaires sont fabriquées en trois étapes principales (MICARD *et al.*, 2017): l'hydratation et le pétrissage, puis vient l'extrusion, suivie éventuellement du séchage. Au cours de la première étape de la fabrication des pâtes alimentaires, la farine est mélangée avec l'eau sous faible apport d'énergie pour obtenir une pâte friable. Cette pâte est ensuite dirigée vers une vis d'extrusion ou un laminoir pour être façonnée par extrusion ou laminage, où une énergie mécanique plus importante assure la structuration des pâtes. L'extrusion génère également des forces thermiques, augmentant la pression et localement la température de la pâte. Les pâtes fraîches sont séchées pour réduire leur teneur en eau à environ 12 %, assurant ainsi leur conservation. Les pâtes alimentaires sèches sont ensuite cuites dans l'eau avant d'être consommées (BERRAZAGA *et al.*, 2018).

I.4.5 Constituants des pâtes alimentaires

1.4.5.1 Semoule

Elle est reconnue comme substrat principal pour la fabrication des pâtes alimentaires en raison de sa teneur en gluten qui confère aux pâtes (couscous, rechta, pâtes alimentaires, ...) des propriétés technologiques et rhéologiques spécifiques, sa dureté, sa couleur unique, sa saveur et sa qualité de cuisson (FEILLET *et al.*, 2000; PETITOT, 2009).

Après conversion en pâte, elle donne des produits avec une bonne qualité culinaire et une stabilité à la cuisson (SISSONS, 2008). L'Amidon (74 à 76 %) et les protéines (12 à 15 %) sont des constituants majeurs de la semoule de blé dur (DURANTI, 2006; KEDDAR, 2014).

I.4.1.2 L'eau

Selon de nombreuses observations faites par les industriels, il ressort que la qualité de l'eau utilisée au cours de l'embâtage peut exercer une influence non négligeable sur l'aspect et le comportement des produits finis au cours de la cuisson (HARRAK *et al.*, 2018).

Des eaux de faible dureté hydrotimétrique sont généralement recommandées (FEILLET, 2000).

I.4.6 Rôles des constituants de la semoule en pastification

I.4.6.1 Rôle des protéines

Selon LALEG *et al.*, (2019), La teneur en protéine affecte considérablement la qualité culinaire des pâtes produites. La matrice de protéines retient les granules d'amidon pendant la cuisson pour diminuer les pertes à la cuisson et par conséquent diminuer la viscosité (CRUCEAN, 2019). Avec des teneurs élevées de protéines, les brins des spaghettis gonflent et tiennent leur fermeté au cours de la cuisson avec moins de pertes de nutriments (FEILLET *et al.*, 2000

Les gliadines et les gluténines forment le réseau de gluten dont le comportement affecte considérablement les propriétés rhéologiques des pâtes (BUCHE, 2011; GUEGUEN *et al.*, 2016). Très extensibles quand elles sont hydratées, les gliadines (qui posséderaient des propriétés plastifiantes) confèrent à la pâte son extensibilité, sa viscosité et sa plasticité. La ténacité et l'élasticité de la pâte s'expliquent par les propriétés très particulières des gluténines pour maintenir les granules d'amidons gélatinisés au cours de la cuisson (WRIGLEY *et al.*, 2006).

Les propriétés fonctionnelles du gluten lui permettent au cours de la pastification, de former un réseau tridimensionnel imperméable, la quantité de gluten et la qualité de ses protéines sont des facteurs prédéterminant de la valeur pastière de la semoule (EDWARDS *et al.*, 2003; DE NONI; PELLEGRINI *et* AGOSTONI, 2015) et de la texture de la pâte (KEZIH *et al.*, 2014).

I.4.6.2 Rôle des glucides et polyosides

L'amidon et ses composants interviennent de différentes manières au cours de la fabrication des pâtes, c'est un fixateur d'eau: On admet que l'amidon absorbe environ 45 % de l'eau ajoutée à la semoule. Par son pouvoir fixateur d'eau, variable selon le degré d'endommagement des granules et sa capacité à former des liaisons non covalentes avec les protéines, l'amidon contribue de manière active à la formation de la pâte (FEILLET *et al.*, 2000).

Les carbohydrates solubles comme l'amylose exsudé à partir des granules d'amidon au cours de la cuisson sont responsable de la viscosité des pâtes (GAUTHIER, 2004). Egalement la teneur en amylose influence les propriétés d'élasticité et d'extensibilité de la

pâte qui traduit les modifications et le comportement à la cuisson: avec l'augmentation de niveau d'amylose, la pâte a des grandeurs d'extensibilité et d'élasticités réduites (**MERCIER, 2016**.) et donc une tendance à l'augmentation de la fermeté de la pâte.

REYNIERS et al., (2020) estiment que la capacité de l'amylose à limiter le gonflement contribuant à la baisse de la prise d'eau à la cuisson et l'augmentation de la délitescence est la résultante de l'augmentation de la disponibilité de lixiviation de l'amylose au cours de la cuisson.

I.4.6.3 Rôle des lipides

Bien que leur teneur dans les semoules ne dépasse pas 2 à 3 %, les lipides jouent un rôle important en pastification, du moins ceux qui ne sont pas liés à l'amidon. Les lipides constituent un facteur déterminant de la couleur de la pâte (**ELENGA et al., 2009**). Elle est établie au cours de processus fabrication des pâtes en raison de l'oxydation des pigments jaunes sous l'action des lipoxygénases principalement au cours de l'hydratation, malaxage, extrusion et pendant l'étape de séchage (**BUCHÉ, 2011**).

DEXTER et al., (1990) et KAMIL, (2011) prouvent que ces lipides essentiellement non polaires ont des effets sur la qualité des pâtes en termes de viscosité et la délitescence. L'élimination des lipides totaux et lipides non polaires augmentent le caractère collant des pâtes et les pertes à la cuisson (**DIB et ZIDOUNE, 2013**).

I.4.7 Pâtes enrichies

De nombreuses études ont été entreprises afin d'améliorer la qualité nutritionnelle des pâtes alimentaires sans altérer leur qualité organoleptique (**BAHNASSEY et KHAN, 1986; DEXTER et al., 1998; INGELBRECHT et al., 2001; PINARLI et al., 2004; MANTHEY et al., 2007; PETITOT et al., 2010; WENDLING, 2020**).

La fabrication des pâtes diététiques-hypoglucidiques pour les diabétiques (**DIB et ZIDOUNE, 2013**); des pâtes sans gluten pour les enfants souffrant de maladie cœliaque (**BATTU, 2017**) et celles à faible teneur en protéines pour les personnes atteintes de maladies rénales (**BRAND-MILLER et SLAMA, 2014**) connaissent une grande importance.

De même, l'enrichissement en protéines pour améliorer simultanément la teneur en protéines (jusqu'à 25-30 %) et la qualité de celles-ci (teneur en acides aminés indispensables) a fait l'objet de nombreux travaux (incorporation de germe de blé dilapidé, de lactosérum, de caséine, de protéines de soja ou autres légumineuses, de protéines de poisson). L'insuffisance des propriétés organoleptiques des produits obtenus, que ce soit leur tenu à la cuisson, leurs

arômes ou leur goût (développement d'amertume notamment), s'est opposée à la commercialisation de ces produits (**DIB et ZIDOUNE, 2013**).

Un des travaux d'enrichissement des pâtes est d'étudier et de déterminer la faisabilité technologique de pâtes enrichies avec des quantités élevées de farine de fève ou de pois cassé et de caractériser leurs propriétés culinaires (**MICARD, et al., 2010**).

Bien que le développement de produits mixtes blé dur/légumineuse et notamment de pâtes enrichies en farine de légumineuse, connaisse depuis quelques années un intérêt croissant, les farines de fève et de pois cassé sont peu étudiées. Les farines de lupin et de pois chiche figurent parmi les légumineuses les plus utilisées pour enrichir les pâtes (**GUEGUEN et al., 2016 ; BERRAZAGA et al., 2018**) devant le pois et la lentille (**ZHAO et al., 2005 ; LALEG, 2016**).

I.4.8 Technologie du couscous

I.4.8.1 Définition

Le couscous est le plat traditionnel de l'Algérie (**SADOUNI, 2023**), c'est un produit composé de la semoule de blé dur (*Triticum durum*) dont les éléments sont agglomérés en ajoutant de l'eau potable, soumis à des traitements physiques tels que la cuisson et le séchage (**CODEX ALIMENTARIUS, 1995**).

Selon **GUEZLANE (1993); TEBRI et ZEGGANE, (2016)**, le couscous de "bonne qualité" est un produit jaune ambré, d'une capacité d'absorption d'eau élevée, ses grains restent individualisés et fermes une fois hydratés. La qualité organoleptique du couscous regroupe la qualité commerciale qui concerne l'aspect du couscous (couleur, granulométrie, forme des particules, etc) et la qualité culinaire qui représente le comportement des grains du couscous au cours de la cuisson (gonflement, prise en masse, délitescence, fermeté).

I.4.8.2 Composition et valeur nutritionnelle

Le Codex Alimentaires (**1995**) indique que la teneur en humidité du couscous ne doit pas dépasser 13,5 %, avec une teneur en cendres au maximum de 1,1 %. La composition biochimique du couscous industriel est semblable à celle de la semoule de blé dur utilisée comme matière première (**DOUMANDJI et al., 2012**), (**Tab.20**).

Tableau 20: Composition globale de 100 g de couscous sec (FAO, 1997).

Composition	Valeur (g)
Humidité	13.2
Protéines	12.0
Lipides	1.1
Cendres	1.2
Glucides	75.5

D'après **DAGHER (1991)** et **GUIRROU et al., (2022)**, l'apport protéique est important, il est de 12 g/100 g (MS) et 13,2 % (MH), mais avec un déficit en lysine qui constitue le facteur limitant dans la composition du couscous (**AUTRET, 1978; CRUZ et al., 2020**).

La teneur en lipides du couscous est relativement faible, elle est de l'ordre de 1,1 g/100 g et ne présente pas un intérêt nutritionnel élevé (**BEKKOUCHE, 2013; GUIRROU, 2022**).

Le couscous est une source non négligeable des sels minéraux, la teneur en cendres est de 1,2 g (**DAGHER, 1991**). Cette dernière est fortement dépendante du taux d'extraction de la semoule et du mode de fabrication.

Le couscous fournit une part importante de l'apport énergétique de la ration vue sa richesse en glucides qui représente environ 75 g /100 g). La valeur énergétique apportée par le couscous est importante (350 kcals pour 100 g de MS) (**DAGHER, 1991**).

I.4.8.3 Place du couscous dans le régime alimentaire

Le couscous est un plat paraissant mystérieux par suite de la variété de ses préparations et de ses présentations (**SARRAT, 2007; VERSINI, 2016**).

Malgré la richesse de la cuisine Algérienne en différentes préparations à base de semoule, le couscous demeure le plat le plus consommé et le plus apprécié (**MARCEAU, 2010; BOUMEDIENE, 2024**). En effet, la consommation du couscous remonte dans l'histoire des Algériens depuis des millénaires. **IBNKHALDOUN** qui a vécu au XIV^{ème} siècle disait des berbères d'Afrique du Nord qu'ils (se rasent la tête, mangent le couscous et portent le burnous) (**BEN SALAH, 2000**).

Le plat traditionnel varie selon les régions et peut comprendre des légumes,

de la viande ou du poisson (**CHEMACHE et al., 2018**). Les préparations sucrées sont aussi très appréciées. Au début des années 90, on assiste à un développement important, des salades fraîches à base des grains de couscous et des couscous dits (aromatisés), le fameux (salade de couscous) est devenu un plat très populaire (**RABANY, 2010; SEGHAIRIA, 2015**).

Le couscous est un produit industriel, non seulement au Maghreb dont il est originaire et en France qui l'a adopté et adapté mais également dans d'autres pays d'Europe du sud, en Amérique du Nord et en Afrique (**RABANY, 2010; CHEMACHE et al., 2018**).

I.4.8.4 Procédé de fabrication

Le processus de fabrication du couscous diffère d'une région à une autre (**RAHMOUNI, 2023**). Cependant quatre principales étapes de fabrication sont retenues (**SAAD, 2011**) (**Fig. 12**).

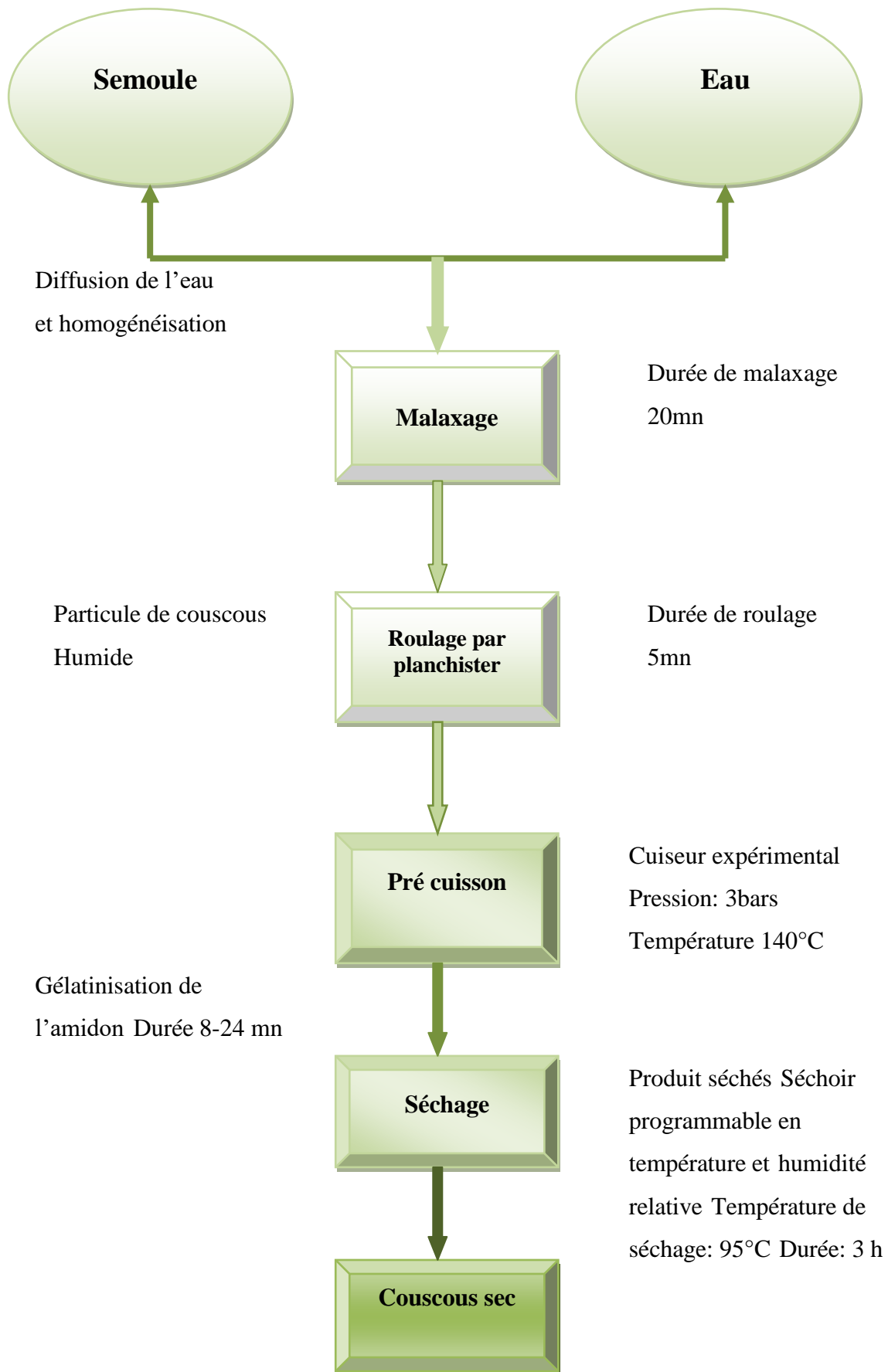


Figure 12: Diagramme de fabrication du couscous (GUEZLANE et al., 1998).

A- Hydratation et malaxage

La semoule est hydratée et malaxée à température ambiante. Ce mélange semoule-eau est disposé dans la cuve du malaxeur (LEFKIR, 2018). La quantité d'eau ajoutée est déterminée de manière à ce que la teneur en eau finale du mélange soit de l'ordre de 30 % MH. Le malaxage se fait pendant 20 minutes à la vitesse de 120 rmp.

B- Roulage

Cette opération permet d'agglomérer entre elles des particules de semoule pour en faire de plus grosses appelées couscous (LEFKIR, 2018). Le roulage par planchister comprend trois tamis en acier inoxydable disposés les uns sur les autres. L'ouverture de maille respectivement égale à 2000, 1500 et 1000 µm. Les granules hydratés sortant du malaxeur sont uniformément disposés sur le tamis supérieur et mis à tamiser pendant 5 minutes. Les produits calibrés sont récupérés dans les deux derniers tamis.

C- Précuisson

La précuisson du couscous est réalisé à une température de 140° C pendant 8 à 24 minutes à pression constante (3 bars) dans un cuiseur comprenant une chaudière électrique et une enceinte de cuisson. Il permet également le contrôle et l'étude des différents paramètres de cuisson (GUEZLANE, 1993).

D- Séchage

Le couscous précuit doit subir un séchage. Ce dernier est réalisé pour 1 kg de couscous frais, étalé en couche mince sur des clayettes, le diagramme de séchage retenu est celui utilisé pour le séchage des pâtes alimentaires à haute température (95° C) (ABECASSIS *et al.*, 1985; AIT MOUH, 1989, LEFKIR, 2018)



Chapitre II

Chapitre II: Matériel et méthodes

II. Matériel végétal

L'étude est réalisée sur 04 variétés de légumes secs (Fève, Fèverole, Pois chiche et Lentille). Elles sont importées par l'ICARDA (Centre International de Recherche Agricole dans les zones Arides), elles se sont adaptées au sol et au climat Algérien au fil des générations au niveau de l'institut national des grandes cultures (ITGC) d'Oued Semmar.

II.1.1 Caractéristiques des légumes secs utilisés

Les différentes variétés de légumes secs utilisés dans l'étude sont mises à notre disposition par la CCLS de Bouira (Coopérative de céréales et de légumes secs), elles sont récoltées en juin 2023.

- **Fève:** Variété Seville, de couleur marron foncée et de forme aplatie.
- **Pois chiche:** Variété Flip-90109, présente une forme anguleuse et une couleur beige.
- **Fèverole:** Variété Giza 402, de couleur marron foncée et de forme aplatie.
- **Lentille:** Variété CDC Richlea, de couleur verte virant vers le bleu, de dimension moyenne et de forme légèrement aplatie (**Fig.13**).

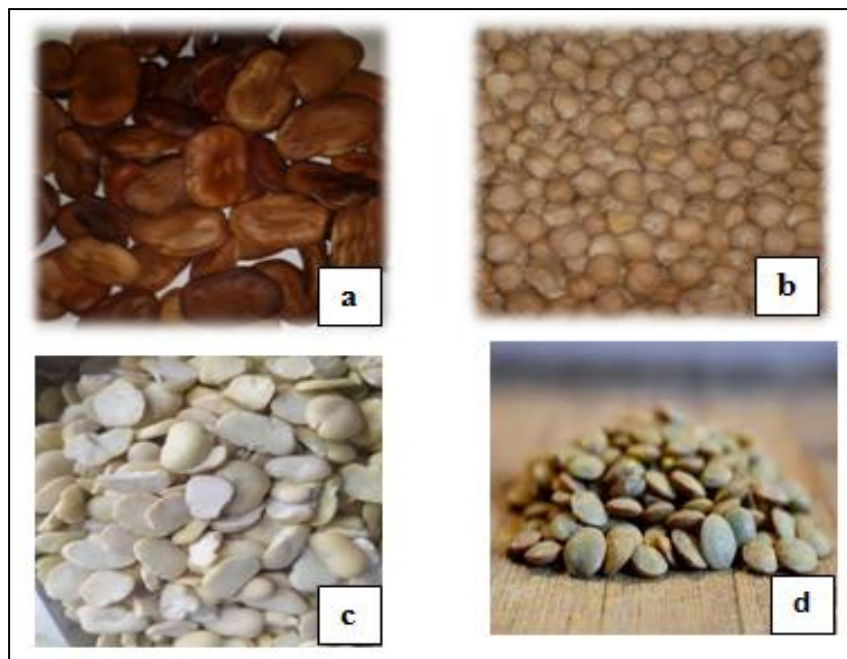


Figure 13: Graines de légumineuses

a) Fève (Seville), b) Pois chiche (Flip 90), c) Fèverole (Giza 402), d) Lentille (CDC Richlea)

II.1.2 Préparation des farines

Les étapes de l'obtention des farines de fève, de pois chiche, de fève et de lentille sont résumées dans le **tableau 21**.

Tableau 21: Différentes opérations de préparation des farines de légumineuses.

Étape de transformation	Principe
Triage manuel	- Effectué manuellement pour éliminer les matières étrangères, grains endommagés.
Décorticage et concassage	- Notamment les graines de fève et de fève ont subi un décorticage et un concassage manuels à l'aide d'un pilon.
Broyage	- Cette opération a pour but de réduire les grains en particules de plus en plus fines. - Le broyage est réalisé à l'aide d'un broyeur traditionnel.
Tamissage conditionnement	- Cette opération a pour but la séparation de la fraction utilisable (farine) de celle non utilisable (enveloppes). - Le tamissage est réalisé à l'aide d'un tamis traditionnel. - Les farines obtenues sont conditionnées dans des bocaux en verre et stockées à 4°C.

La **figure 14** montre l'aspect des farines de fève (Seville), de pois chiche (Flip 90), de fève (Giza 402) et de lentille (CDC Richlea) obtenues:



Figure 14: Aspect des farines obtenues et broyeur traditionnel (e):

a) Pois chiche (Flip 90), b) Fève (Seville), c) Féverole (Giza 402), d) Lentille (CDC Richlea).

II.2 Méthodes d'analyse

II.2.1 Analyse de la matière première

Les quatre types de farines de légumineuses obtenues après broyages des graines ont subi différentes analyses:

II.2.1.1 Méthodes d'analyses physico-chimiques

II.2.1.1.1 pH

La détermination du pH par la méthode potentiométrique, est réalisée à l'aide d'un pH-mètre dont le principe consiste à peser 5g de produit (farine de fève, farine de féverole, farine de pois chiche et farine de lentille) à analyser et les mettre dans un bécher rempli d'eau distillée jusqu'à 50 ml, après agitation, l'électrode est introduite dans le bécher. Le résultat est lu directement sur l'écran du pH-mètre.

II.2.1.1.2 Humidité

La teneur en eau des produits broyés est déterminée par séchage dans une étuve réglée à 103°C pendant une heure et demie sur 5 grammes de produit (**Norme ISO 721-1979**). Les résultats sont donnés selon la formule:

$$H \% = (M_1 - M_2) / (M_1 - M_0) \times 100$$

Où:

H %: Humidité.

M₀: Masse en gramme de bécher vide.

M₁: Masse en gramme de bécher + la prise d'essai avant étuvage

M₂: Masse en gramme de bécher + la prise d'essai après étuvage

II.3.1.1.3 Taux de cendre

La teneur en matière minérale existant dans les différentes farines est déterminée par incinération d'une prise d'essai de 5 grammes dans un four à 900°C ± 25° C, selon la norme **ISO 2171:2007**. La minéralisation est poursuivie pendant 3 heures jusqu'à combustion totale de la matière organique et apparition d'un résidu blanchâtre.

$$C = (M_2 - M_1) \times 100 / M_0$$

Où:

M₀: Masse en gramme de la prise d'essai.

M₁: Masse en grammes du creusé vide.

M₂: Masse en gramme du creusé.

II.2.1.1.4 Dosage de l'acide phytique

Le dosage de l'acide phytique est réalisé selon la méthode préconisée par **ELLIS et al., (1977)**. Elle repose sur la précipitation des phytates par une solution de chlorure ferrique en présence de salicylate de sodium comme indicateur coloré. Cette technique dose le phosphore phytique. Le résultat obtenu est converti en pourcentage d'acide phytique. 10 g de l'échantillon sont mélangés avec 100 ml d'HCl à 0,5 N, le mélange subit une agitation pendant 1 h 30 mn, suivie d'une centrifugation pendant 20 mn à 5000 Tr/mn. 20 ml du surnageant sont récupérés et additionnés à 30 ml d'eau distillée avant d'être portés à 80 ° C au bain maré pendant 5 mn. Le titrage est réalisé avec une solution de FeCl₃ à 0,05 % dans 0,6

% d'HCl en présence de salicylate de sodium comme indicateur coloré. La quantité de phosphore phytique est calculée d'après l'expression suivante:

$$X = (V \times 3,443 \times 1,11X \times 50) \times 100 / (100 \times W)$$

Où:

X = Quantité de phosphore phytique exprimé en mg/100 g de MS.

V = Volume de la solution de FeCl₃ en ml (dans 1 mg de cette solution; 1 mg de FeCl₃ correspond à 0,3443 mg de Fer).

W = Teneur en eau du produit en %.

50 = Coefficient de conversion pour exprimer la quantité de phosphore phytique par rapport à 100 g d produit.

En effet, dans ces conditions expérimentales, le titrage est effectué sur 2 g de produit. Cette méthode admet pour les produits céréaliers ainsi que pour les légumineuses que 1 mg de fer correspond à 1,11 mg de phosphore phytique. Pour trouver la teneur en phytates exprimée en % d'acide phytique, le résultat est multiplié par 3,5515. Ce coefficient représente la masse moléculaire de phosphore dans l'acide phytique.

II.2.1.1.5 Dosage d'amidon

➤ Principe

La teneur en amidon des différents échantillons est déterminée selon la méthode polarimétrique d'**EWERS** dans les conditions décrites par le **BIPEA (1978)**. L'amidon est dispersé par traitement de l'échantillon à chaud par l'acide chlorhydrique dilué. Après défécation et filtration, le pouvoir rotatoire de la solution est mesuré par polarimétrie.

Le même traitement est effectué sur l'extrait sec éthanolique à 40 % de l'échantillon, extraction ayant pour but d'éliminer les glucides solubles susceptibles d'interférer en polarimétrie. La différence obtenue entre les deux mesures polarimétriques, multipliée par un facteur spécifique lié à l'origine botanique de l'amidon, donne la teneur en amidon de l'échantillon.

➤ Expression des résultats

La teneur en amidon pour 100 g d'échantillon est calculée comme suit:

$$\text{Amidon (\%)} = (200 (P - P') / (\alpha))$$

Où:

P: Pouvoir rotatoire total en degrés d'arc.

P': Pouvoir rotatoire en degrés d'arc donné par les substances solubles dans l'éthanol à 40 %.

(α): Pouvoir rotatoire spécifique de l'amidon pur.

II.2.1.1.6 Dosage des lipides totaux

L'échantillon sec est extrait à l'aide de l'hexane avec un appareil de type Soxhlet, le solvant est évaporé, l'échantillon est séché et pesé (AFNOR, 1991).

Le taux de la matière grasse est calculé par la formule suivante:

$$\text{MG (\%)} = ((P_2 - P_1) / M_e) \times 100$$

Où :

P₁: Poids du ballon vide (g).

P₂: Poids du ballon après évaporation (g).

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

MG: Taux de la matière grasse (%).

II.2.1.1.7 Acidité grasse

L'acidité des farines est l'acidité des substances extractibles par l'alcool à 95°. Elle est due en grande partie à l'acidité des acides gras formés par hydrolyse ou par oxydation des lipides.

L'acidité varie avec: l'âge, l'état de conservation et le taux d'extraction de la farine.

➤ Extraction

Introduire dans un tube de centrifugeuse 5g de farine, 30 ml d'alcool à 95°, puis fermer hermétiquement avec un bouchon et du papier film et agiter manuellement pendant 1h. Laisser reposer 24h. Après nouvelle agitation, faire 2 centrifugations successives (2 minutes) à une heure d'interval.

➤ Dosage

Dans un erlenmeyer, mettre 20 ml de surnagent (qui doit être limpide), 80 d'eau distillée récemment bouillie et refroidie à l'air libre et 5 gouttes de phénophtaléine. Titrer au moyen de la soude 0.05 N jusqu'au virage rose. Préparer un essai à blanc avec l'alcool à 95° pour déterminer l'acidité apportée par le solvant en suivant la même procédure.

II.2.1.1.8 Dosage des protéines totales

Le dosage des protéines totales est réalisé par la détermination de l'azote total selon la méthode de **KJELDAHL (AFNOR 1991)**. Le coefficient de conversion de l'azote total en protéines est de 6.25 pour les légumes secs.

Le principe de la méthode consiste à une minéralisation à chaud de la matière organique par l'acide sulfurique concentré en présence d'un catalyseur, une alcalinisation des produits de la réaction (sulfate d'ammonium) par la lessive de soude concentrée, une fixation de l'ammoniac entraîné par la vapeur par l'acide borique et une titration par l'acide sulfurique.

La méthode comporte les étapes suivantes:

➤ **Minéralisation**

Sous l'effet de la chaleur, l'acide sulfurique concentré (95%, $d = 1.83$) en présence de catalyseur oxyde et détruit la matière organique, l'azote organique est transformé en sulfate d'ammonium.

➤ **Distillation**

Le minéralisât est alcalinisé par la soude NaOH (10N) et l'ammoniac est libéré de son sel.

Au cours de la distillation, les molécules d'ammoniac (NH_3) libérés sont entraînés par la vapeur et fixées dans une solution de volume connu d'acide borique (4 %).

➤ **Titration**

Le distillat récupéré est titré par l'acide sulfurique (0,01 N) en présence d'un indicateur coloré (rouge de méthyle). Le titrage soit complet au virage de la couleur du jaune au rose. La teneur en azote total (N) est exprimée en g pour 100g de produit humide.

$$N = (A \times V / P_e) \times 100$$

Où :

A : Quantité d'azote en gramme neutralisée par 1 ml de solution de H_2SO_4 à 0.01 et est égale à 0,0014g.

V : volume en ml de H_2SO_4 versé à la titration.

Pe: Prise d'essai en gramme.

La teneur en protéines (P) est exprimée en pourcentage par rapport à la matière sèche:

$$P = (N \times K / 100 - H) \times 100$$

Où :

N: Teneur en azote en % du produit.

K: Coefficient de conversion de l'azote en protéines.

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

II.2.1.1.9 Dosage des acides aminés

Les acides aminés sont dosés par HPLC (chromatographie liquide à haute pression) en phase inverse selon la méthode de **BRUNET *et al.*, (1988)**.

500 mg de farine sont dissous dans 100 ml de solution HCl 6N et 60 mg de chlorure stanneux dans un ballon de 500 ml à col rodé ajusté à une colonne sous reflux. L'hydrolyse dure 24 heures à 100°C. Le volume rétabli à 100 ml après un rinçage du ballon. 25 ml de l'hydrolysate sont prélevés dans un ballon de rotavapeur et sont réduits à l'état sirupeux 6 à 7 fois par addition à chaque fois de 25 ml d'eau distillée. Par petits rinçages du ballon avec une solution d'HCl 0,1 N, le volume est rétabli à 25 ml.

Pour la dérivation, les échantillons sont traités successivement avec un mélange constitué de 50 mg de O – phtaldehyde (OPA), 1 ml de méthanol, 8,9 ml tampon borate (PH 10,4) et 100 µl de mercapto-éthanol (MCE). Parallèlement, des mélanges témoins d'acides aminés sont traités de la même manière.

Les acides aminés dérivés sont élués de la colonne par un mélange binaire (gradient 0-70) de solvant A qui est constitué de: eau-propionate de sodium-acétonitrile (72/28/8 v/v) et de solvant B constitué de: eau- acétonitril-diméthylsulfoxyde (42/30/25/3 v/v). L'élution dure 24 mn avec un débit de 1 ml/mn. La détection se fait par lecture de l'absorbance à une longueur d'onde réglée entre 254-270 nm.

➤ Acquisition et traitement des données

Le détecteur de sortie est interfacé avec un ordinateur qui permet l'acquisition de toutes les données en temps réel et leur stockage pour un traitement ultérieur.

➤ **Expression des résultats**

Le facteur de réponse de chaque acide aminé est calculé à partir des résultats de deux injections de solution étalon.

➤ **Facteur de réponse Fr = concentration (n moles /20 µl) / surface.**

Après injection des solutions à analyser, la teneur de chaque acide aminé est calculée comme suit:

$$\text{Teneur} = S \times \text{facteur de réponse}$$

Où

S: aire du pic

II.2.1.1.8 Calcul de l'indice chimique des protéines

La détermination de l'indice chimique d'une protéine est faite sur la base d'une combinaison type de référence (**Tab.22**) préconisée par **FAO (1999)**.

L'indice chimique d'une protéine ou d'un mélange de protéines se calcule comme suit:

$$\text{Indice chimique} = (\text{mg d'AA/g protéines}) \times 100 / \text{mg d'AA/g combinaisons type}$$

Tableau 22: Combinaison type provisoire d'acides aminés proposés pour le calcul d'indice chimique selon **FAO (1999)**.

Acides Aminés	Combinaison proposée	
	mg/ g de protéines	mg/ g d'azote
Isoleucine	40	250
Leucine	70	440
Lysine	55	340
AA soufrés	35	220
AA aromatiques	60	380
Thréonine	40	250
Tryptophane	10	60
Valine	50	313
Total	360	2250

II.3 Elaboration de produits finis sans gluten

II.3.1 Elaboration de biscuit (Cookies) à base de farine de fève et de farine de pois chiche

II.3.1.1 Présentation du produit confectionné

Le produit élaboré est une forme de cookies sans gluten à base de farine de pois chiche (Flip 90) et de farine de fève (Seville) (50 g / 50 g). Pour cette préparation, une formule est proposée par l'équipe de laboratoire de la biscuiterie « **BIMO** ». Tous les ingrédients additionnés dans la formulation de la recette sont exemptes de gluten.

➤ **Sucre**

Le sucre employé est acheté du marché. C'est un sucre blanc cristallisé vendu sous le nom de "Skor" de la société "CEVITAL", Bejaïa.

➤ **Matière grasse**

La matière grasse utilisée est une margarine végétale de la marque Fleurial fabriquée par Cevital SPA-Bejaia, Algérie.

➤ **Cacao**

Le cacao utilisé est conditionné dans une boîte de 35 gramme vendu sous le nom d'EL Amir de la société Tadj El Amir, Constantine.

➤ **Levure chimique**

La levure chimique est de marque Nouara produite par groupe SIPADES.

➤ **Pépites de chocolat**

Les pépites de chocolats ont un diamètre de 5 à 10 mm et un poids de 0,1 à 0,2 g de la marque DADA produites par la SARL CHOCODADA d'Alger. Les quantités des ingrédients sont résumées dans le **tableau 23**.

Tableau 23: Types et quantités des ingrédients ajoutés dans la fabrication du biscuit.

Ingrédients	Quantités(en gramme)
Farine de pois chiche	90
Farine de fève	90
Sucre	150
Margarine	150
Cacao	20
Jaune d'œuf	16
Pépites de chocolat	120
Zeste de citron	7
Levure chimique	2
L'eau	6

II.3.1.2 Etapes d'élaboration du biscuit

La préparation est réalisée manuellement selon les étapes suivantes:

➤ **Crémage**

- Cette étape consiste à fouetter le sucre et la margarine à l'aide d'un batteur électrique jusqu'à l'obtention d'une texture de pommade.
- Ajouter le jaune d'œuf et le zeste de citron puis mélanger de nouveau.

➤ **Pétrissage**

- Ajouter les autres ingrédients (farine de pois chiche et farine de fève, cacao, levure chimique et l'eau)
- Mélanger bien jusqu'à l'obtention d'une pâte homogène.
- Ajouter les pépites de chocolat et mélanger pour bien incorporer les pépites et former une belle boule de pâte.

➤ **Mise en forme**

- Former des boules de 15 g.
- Répartir les boules sur une plaque recouverte d'un papier cuisson.
- Aplatir chaque boule de pâte pour obtenir un disque de 1cm d'épaisseur à l'aide du dos d'une cuillère.
- Laisser de la place entre les cookies pour ne pas adhérer lors de la cuisson.

➤ **Cuisson**

- Enfourner les cookies pendant environ 13 min à 180°C.
- Refroidir les cookies à une température ambiante avant de les manipuler et les déguster.

La confection des cookies sans gluten à base de farine de pois chiche (Flip 90) et de farine de fève (Seville) à poids égal est illustrée selon le diagramme suivant (**Fig. 15**)

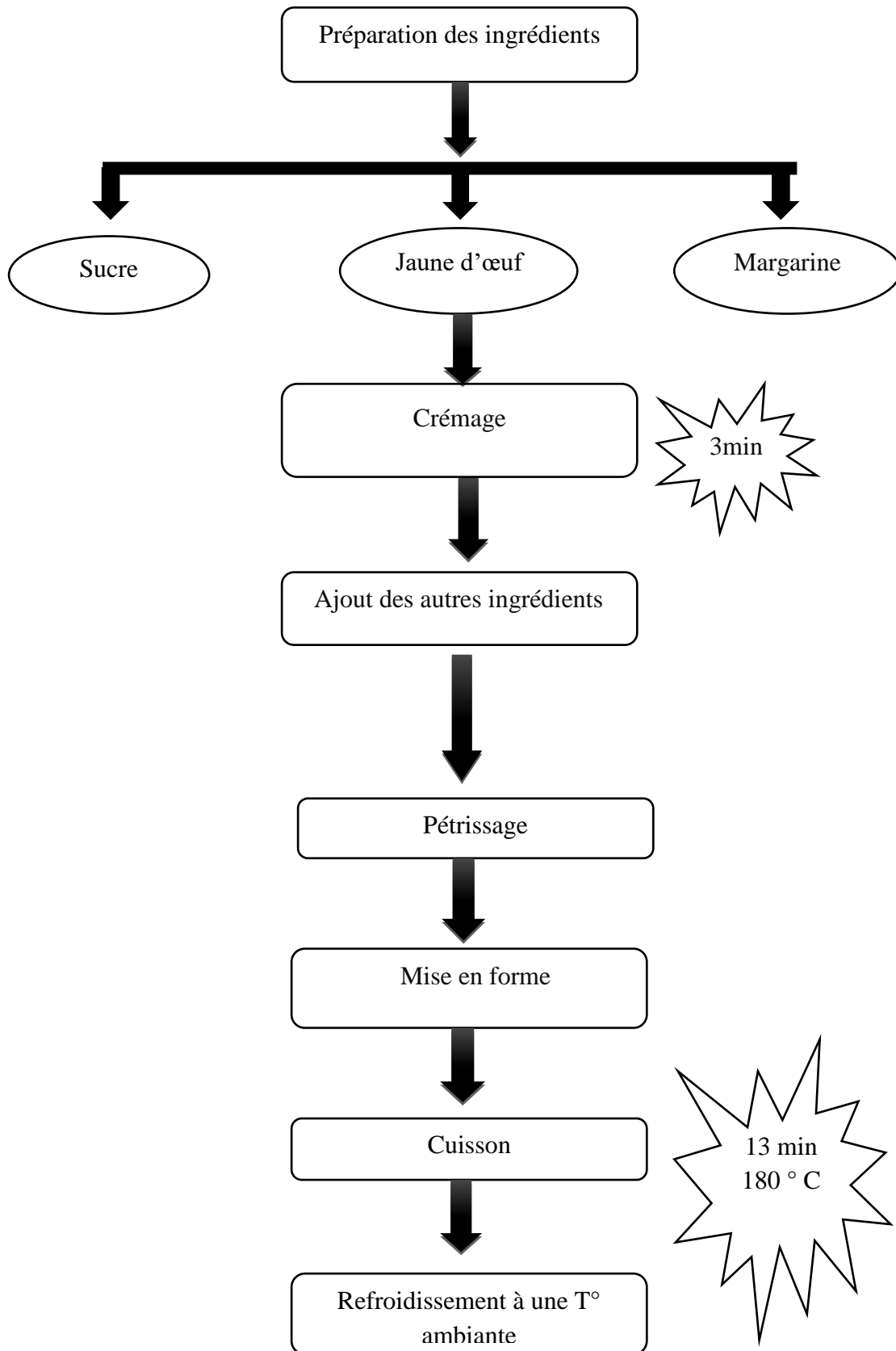


Figure 15: Diagramme d’élaboration de cookies sans gluten à base de farine de pois chiche (Flip 90) et de farine de fève (Seville).

II.3.2 Elaboration d'une pâte alimentaire à base de farine de lentilles

II.3.2.1 Présentation du produit confectionné

L'élaboration d'une pâte alimentaire (Nouilles) sans gluten à base de farine de lentilles vertes (Variété CDC Richlea) est réalisée selon les étapes illustrées par le diagramme suivant (Fig.16):

- **Préparation:** Verser la farine de lentilles dans un récipient. Creuser un puits, ajouter des jaunes d'œufs, mélanger bien puis rajouter l'eau jusqu'à obtenir une pâte homogène.
- **Malaxage:** Pétrir la pâte manuellement pendant 5 min. Laisser la reposer 5 à 10 min.
- **Mise en forme (façonnage):** Rendre la pâte très fine, puis la façonner à l'aide d'un petit moule.
- **Séchage:** Une fois la pâte formée, placer la dans un plat et la faire cuire au four.
- **Refroidissement:** Après le séchage, laissé les pâtes alimentaires élaborées refroidir.
- **Cuisson:** Après le refroidissement complet des pâtes, les mettre dans de l'eau bouillante et les laisser cuire d'après les normes requises.

II.3.2.2 Qualité culinaire des pâtes alimentaires élaborées

La qualité culinaire des pâtes alimentaires est déterminée dans les conditions décrites par **ABECASSIS et al., (1984)**.

II.3.2.2.1 Cuisson des pâtes sans gluten élaborées

➤ Principe

100 grammes de pâtes sont versés dans 3 litres d'eau minérales (pH = 7,7), salée à 7 g NaCl / l et maintenus à franche ébullition.

* **Temps minimal de cuisson** (T en mn): Il est déterminé en prélevant une quantité de pâtes en cours de cuisson et l'écrasée entre deux plaques de verre et en suivant la disparition d'une tache centrale blanche dont la présence témoigne que l'amidon situé au cœur de la pâte est encore cru.

* **Temps optimal de cuisson:** Il varie selon les habitudes alimentaires de chaque individu et se situ généralement entre T+1 et T + 6.

II.3.2.2.2 Etat de surface

Après les temps T+6 et T+11 minutes de cuisson, l'état de surface des pâtes est apprécié par l'analyse sensorielle. Les pâtes sont notées de 1 à 9 (1= très mauvais, 9= excellent) sur la

base des seuls caractères de délitescence et tendance à coller. La notation est effectuée par comparaison avec les photos témoins de la norme ISO DIS 7304.

II.3.2.2.3 Pertes à la cuisson (PC)

Les pertes à la cuisson (PC) représentent la quantité de la matière sèche perdue par 100 g de pâtes crues durant la cuisson. Après homogénéisation de l'eau de cuisson, 25 ml sont prélevées et mises à sécher pendant 24 heures à 120°C. Nous calculons les pertes à la cuisson (PC) à partir de la relation suivante:

➤ **Expression des résultats**

$$PC = ES \times (V/25) \times (100 / (100-H))$$

Où:

ES: Poids de l'extrait sec (g).

V: Volume final de l'eau de cuisson (ml).

H: Teneur en eau des pâtes crues (ml).

II.3.2.2.4 Capacité de fixation d'eau (C)

La capacité de fixation d'eau (C) rend de l'aptitude de la pâte cuite à retenir plus au moins l'eau. Elle est calculée comme suit:

➤ **Expression des résultats**

Où:

$$C = (P - 100) \times 100 / (100 - H - PC)$$

P: Poids des pâtes cuites (g).

PC: Pertes à la cuisson (g).

H: Teneur en eau des pâtes crues (ml).

II-7- Etapes de fabrications des pâtes alimentaires sans gluten

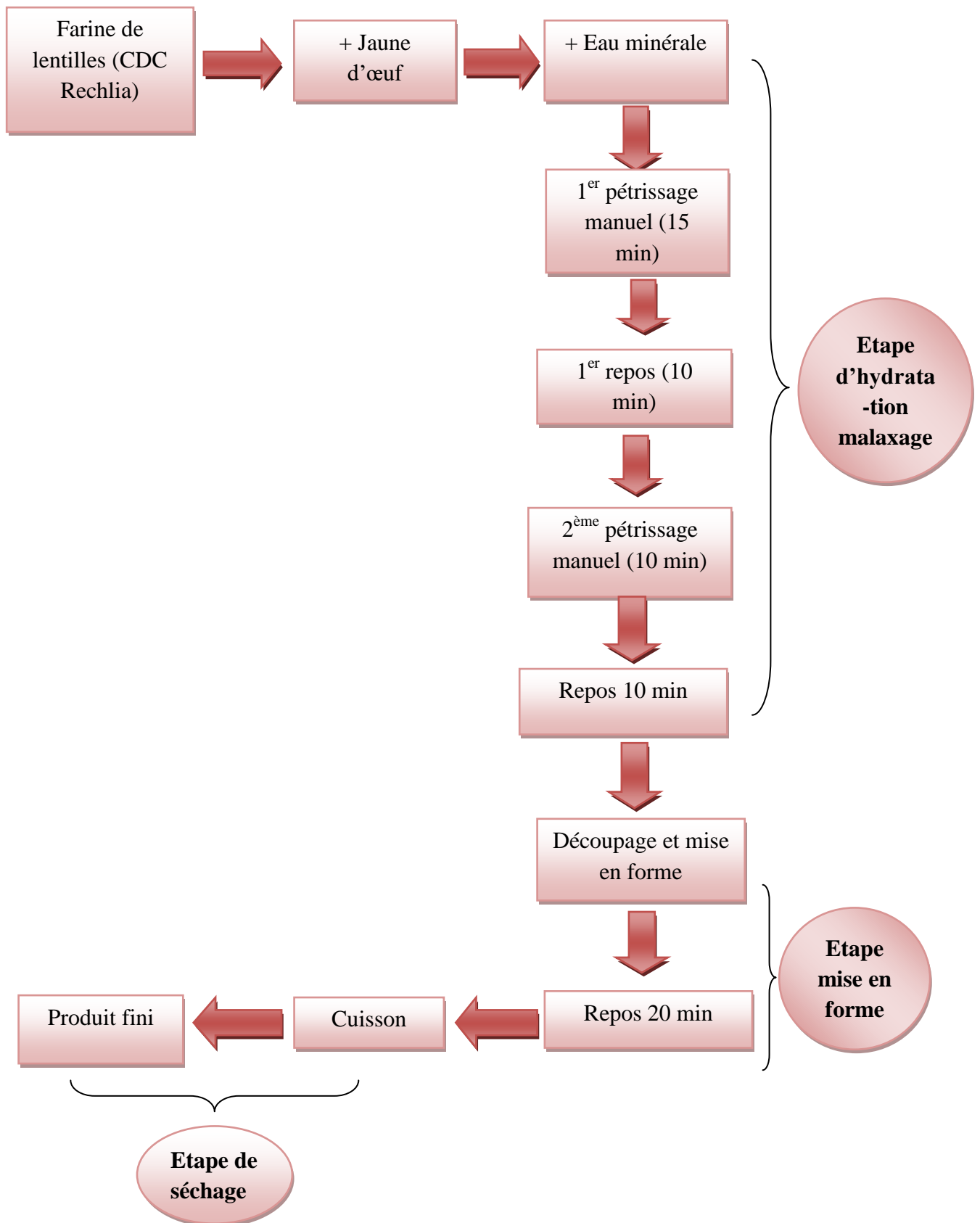


Figure 16: Diagramme de fabrication des pâtes alimentaires

II.3.3 Elaboration d'une pâte alimentaire (Couscous).

II.3.3.1 Présentation du produit élaboré (Couscous)

Le produit élaboré est une forme de pâte sans gluten (couscous) à base de farine de pois chiche et farine de fève (50 % pois chiche et 50 % fève «couscous A», (30 % pois chiche et 70 % fève «couscous B»). Pour la préparation du couscous, nous avons utilisé le mode traditionnel, réalisé à partir de la farine de pois chiche et de la farine de fève, de l'eau et du sel, hydraté et roulé avec les mains en utilisant 3 types des tamis ensuite, il est précuit dans un couscoussier puis séché en l'étalant à l'air libre.

- **Matière première:** la matière première utilisée est un mélange de farine de pois chiche de variété (Flip 90109) et de farine de fève de variété (Giza 402).
- **Ingrédients utilisés:** utilisation du sel iodé produit par l'ENASEL et commercialisé pour les usages culinaires.
- **Hydratation:** L'eau utilisée dans la fabrication du couscous est une eau potable (eau de robinet).

II.3.3.2 Matériels utilisés dans le processus de fabrication

Les ustensiles utilisés pour rouler le couscous sont ceux habituellement employés au niveau domestique et sont décrits ci-dessous.

- **Guessâa:** C'est un récipient en terre cuite d'un diamètre de 60 cm, et d'une profondeur de 9 cm. Elle est utilisée pour le roulage et le pétrissage des pâtes traditionnelles.
- **Tamis:** ils sont fabriqués en bois et en métal. Utilisés pour obtenir une granulométrie moyenne, fine ou grosse en fonction de l'ouverture des mailles. Généralement trois types de tamis sont utilisés pour la fabrication du couscous:
 - **Tamis Sekkat (TS):** ouverture de maille moyenne de 1600 µm à 2500 µm.
 - **Tamis Mâaoudi (TM):** ouverture de maille entre 1130 µm et 1400 µm.
 - **Tamis Reffad (TR):** ouverture de maille fine entre 1000 µm et 1100 µm.
- **Cuiseur à vapeur (couscoussier):** Il s'agit d'un ustensile dénommé aussi couscoussier. Il est utilisé pour la cuisson du couscous et se compose de deux parties. La partie inférieure permet de faire bouillir l'eau ou de préparer une sauce et ce qui produit de la vapeur servant à la cuisson des aliments dans la partie supérieure. Cette dernière est un récipient avec un fond criblé de petits trous permettant la montée de la vapeur produite pour faire cuire le couscous.

II.3.3.3 Etapes de fabrication de couscous

La fabrication du couscous artisanal à base de mélanges de farine de pois chiche et de farine de fève est résumée dans diagramme suivant (**Fig. 17 a**). Il est à préciser que cette préparation est réalisée dans des conditions d'hygiène très stricte avec l'utilisation d'ustensiles neufs (Tamis; guessaa; couscoussier) afin d'éviter toutes sorte de contaminations.

➤ **Hydratation**

Cette opération permet de préparer la farine par l'addition de l'eau légèrement froide et salée. Grâce à l'hydratation, des liens se forment entre les particules des farines.

➤ **Roulage**

Cette étape se fait dans un récipient en bois appelée «*guessâa*», assurée par le mouvement de va et vient des mains ouvertes, paumes vers le bas avec un léger écartement des doigts afin de garantir un bon mélange et faciliter l'absorption de l'eau par les particules de la farine. L'addition de la farine fine se fait progressivement en fonction de taux d'hydratation qui doit être toujours convenable jusqu'à l'obtention de granulation désirable.

➤ **Tamisage**

L'homogénéité et la granulométrie recherchée sont assurées par le choix des ouvertures des mailles du tamis. Pour répondre à ces critères de qualité, il faut faire un double tamisage par l'utilisation de deux tamis, dont le premier a des ouvertures des mailles supérieures à la granulométrie désirée pour éliminer les gros agglomérats et le second a des ouvertures des mailles inférieures à la granulométrie désirable afin d'éliminer les fines particules de la farine non agglomérée.

➤ **Précuisson**

Le couscous à granulométrie recherchée est mis dans une passoire d'un couscoussier contenant de l'eau portée à ébullition (100° C), le couscous est précuit à la vapeur d'eau pendant 20 min puis subi un zlig à l'huile d'olive.

➤ **Séchage**

Le couscous est bien étalé sur un linge propre, à température ambiante. Le produit commence à perdre son humidité progressivement. Le temps de séchage est fonction de la température ambiante et de l'humidité relative de l'air. Lorsque le produit est bien sec, le couscous subi un séchage à l'air libre (durée limitée).

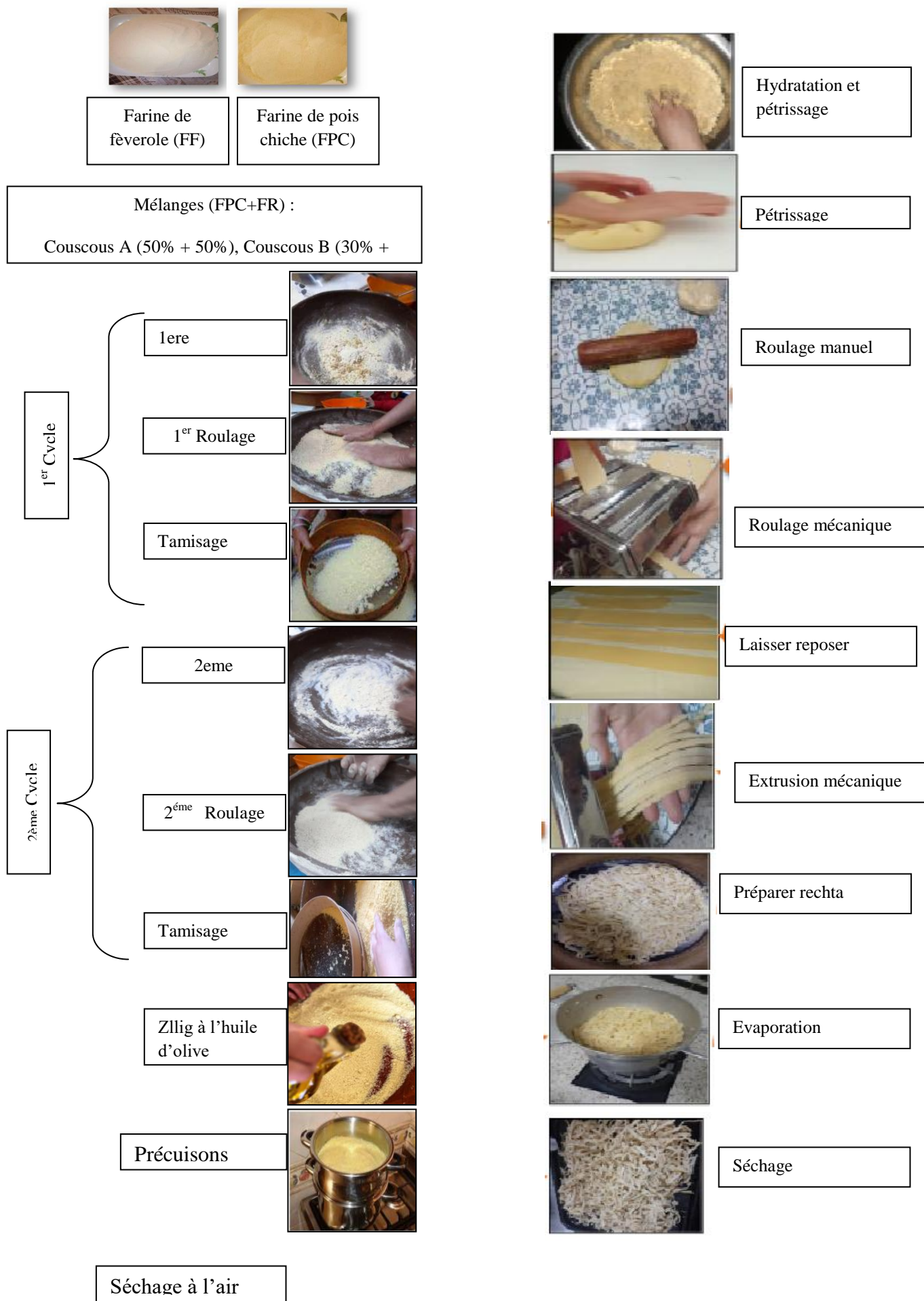


Figure 17: a) Diagramme de fabrication de couscous artisanal à base de farine de fève (Giza 402) et de farine de pois chiche (flip

Figure 17: b) Etapes d'élaboration de la pâte alimentaire (Rechta)

II.3.4. Elaboration d'une pâte alimentaire (Rechta).

II.3.4.1 Présentation du produit élaboré (Rechta)

Le produit élaboré est une forme de pâtes alimentaires traditionnelles (*Rechta*) à base de semoule de blé dur enrichie avec de la farine de pois chiche à des proportions variables (**70 % de farine de pois chiche / 30 % de semoule de blé et 50 % de farine de pois chiche / 50 % de semoule de blé**). Cette approche a permis d'améliorer la teneur en protéines du mélange et d'équilibrer sa composition en acides aminés, sachant que la semoule de blé dur est riche en acides aminés soufrés (cystéine et méthionine) mais pauvre en lysine, tandis que cette dernière est présente en quantité suffisante dans la farine de pois chiche. De plus, l'ajout de farine de pois chiche a contribué à réduire le taux de gluten dans la semoule, permettant ainsi de développer un produit final (pâtes alimentaires de type *Rechta*) adapté aux personnes souffrant d'intolérance au gluten.

- **Matière première:** Les deux variétés utilisées dans cette étude sont une variété de blé dur (Simito) et une variété de pois chiche (Flip 90), fournies par la Coopérative des céréales et des légumes secs (CCLS) de Bouira.
- **Ingrédients utilisés:** utilisation du sel iodé produit par l'ENASEL et commercialisé pour les usages culinaires.
- **Hydratation:** L'eau utilisée dans la fabrication du couscous est une eau potable (eau de robinet).

II.3.4.2 Matériels utilisés dans le processus de fabrication

La préparation du blé en vue de sa mouture suit plusieurs étapes, à savoir le nettoyage, le mouillage, puis la mouture proprement dite, réalisée à l'aide d'un moulin d'essai Chopin. Quant à la farine de pois chiche, elle est obtenue par broyage des grains à l'aide d'un broyeur de type Laboratory Mill 3303, produisant une farine de particules non homogènes.

Ce broyage est suivi d'un tamisage à l'aide d'un tamiseur de marque Buhler, utilisant différents tamis aux ouvertures décroissantes (400 μm , 350 μm , 300 μm , 150 μm), afin de séparer les particules de farine selon leur diamètres.

II.3.4.3 Etapes de fabrication de Rechta

La fabrication de la Rechta commence par l'hydratation et le malaxage de la semoule pour obtenir une pâte homogène. Ensuite, la pâte est pétrie afin de lui donner une texture souple et élastique. L'étape suivante consiste en un étalement manuel pour former une couche uniforme de pâte, suivi d'un étalement mécanique qui permet de l'affiner davantage. Après

cela, la pâte est mise au repos pour permettre à la structure de se stabiliser. Le tréfilage mécanique suit, permettant de former des brins fins et réguliers. La Rechta ainsi élaborée est ensuite soumise à un processus d'évaporation pour éliminer l'humidité excédentaire, avant de passer au séchage final, assurant ainsi une bonne conservation et une texture idéale pour la cuisson (**Fig. 17 b**).

Les mélanges (70 % farine de pois chiche / 30 % semoule de blé et 50 % farine de pois chiche / 50 % semoule de blé) sont analysés avant et après la fabrication de la Rechta pour évaluer l'évolution de leur composition biochimique. L'humidité, le taux de cendre et le gluten humide sont mesurés, ainsi que la teneur en protéines (méthode de Kjeldahl) et en lipides (gravimétrie).

La qualité des pâtes est étudiée à travers leur comportement à cru et après cuisson, incluant le temps de cuisson, la texture, l'adhérence, l'absorption d'eau, les pertes à la cuisson et les caractéristiques organoleptiques (goût, arôme, couleur). Le temps optimal de cuisson est déterminé en fonction de la gélatinisation de l'amidon et de la tenue des pâtes dans l'eau bouillante.

L'évaluation sensorielle est réalisée par un panel de 50 dégustateurs issus de la semoulerie Molino Grani. Un protocole strict est suivi pour éviter toute interférence sensorielle lors des tests visuels et gustatifs des pâtes sèches et cuites.

II.3.4 Analyse des produits sans gluten élaborés (Biscuit, Pâte alimentaire, Couscous et Rechta)

II.3.4.1 Analyses physico-chimiques

Pour préparer les échantillons, les cookies, les pâtes alimentaires et le couscous élaborés sont broyés l'aide d'un broyeur manuel. Concernant la détermination de la teneur en eau, nous avons pris les produits à l'état initial.

Concernant les produits finis confectionnés, nous avons établi le même protocole expérimental pour déterminer les mêmes paramètres analysés de la matière première (PH, Teneur en eau, taux de cendre, teneur en protéines, Teneur en lipides acidité grasse et teneur en amidon).

II.3.4.2 Analyses organoleptiques

L'évaluation des paramètres organoleptiques est une condition très importante pour l'acceptabilité d'un produit. L'analyse physicochimique d'un produit est bien évidemment

incontournable. Néanmoins, elle est insuffisante pour refléter ce que perçoit le consommateur sur le plan sensoriel.

L'analyse sensorielle des produits finis élaborés (Biscuits, Pâtes alimentaires et Couscous) est faite par un test de dégustation au biais d'un jury composé de 50 personnes choisies au hasard de sexe homme et femme et d'âge différent (18- 53 ans). Parmi ces dégustateurs, nous notons la présence de malades cœliaques.

Pour réaliser cette analyse organoleptique, nous avons effectué un test de notation. Chaque dégustateur donne son jugement séparément des autres et apporte une note sur une fiche de dégustation comportant les critères suivants: Forme, Couleur, Texture, Odeur et Goût.

II.3.4.3 Analyse statistique

L'analyse de la variance (ANOVA), la comparaison des moyennes (LSD) au seuil de 5 % et des tests de corrélation statistiques sont effectuées à l'aide du logiciel statistica version 4.



Chapitre III

Chapitre III: Résultats et discussion

Les légumes secs comptent parmi les cultures les plus pratiquées depuis la nuit des temps, du fait de leur particularité d'être riches en protéines, relativement peu couteuses et en certains éléments minéraux tels que le fer, le potassium, le magnésium et le calcium. Ils constituent l'une des ressources alimentaires les plus prisées par beaucoup de populations.

Les légumineuses sont aussi riches en amidon et pauvres en lipides. Elles ont une concentration élevée en vitamines du groupe B. Leur densité énergétique est élevée, elles sont pauvres en graisses saturées et ont un faible indice glycémique. La composition des légumineuses est donc très intéressante pour répondre aux besoins nutritionnels. Elles présentent également des effets santé, c'est-à-dire qu'elles préviennent ou réduisent la prévalence de certaines maladies. La consommation de légumineuses est notamment recommandée dans les régimes sans gluten (maladie cœliaque) et lors de la prise en charge du diabète ou pour prévenir les risques cardiovasculaires et l'obésité.

III.1 Etude de la matière première (Pois chiche, Lentille, fève et féverole)

La valeur alimentaire des produits finis élaborés dépend étroitement de la qualité des matières premières utilisées pour leur fabrication. Le choix de ces matières tient compte non seulement de leur disponibilités locales mais également de l'importance d'utilisation par la population.

Parmi les légumineuses cultivées, le pois chiche s'impose par sa consommation élevée notamment en milieu rural; cependant, la fève, la féverole et la lentille occupent une place importante dans l'alimentation humaine à travers le monde due essentiellement à la richesse nutritionnelle de ses graines surtout en protéines.

III.1.2 Caractéristiques physico-chimiques

Les résultats de la caractérisation de certains paramètres physicochimiques des espèces de légumineuses utilisées (fève, féverole, pois chiche et lentilles) sont résumés dans le **tableau 24** et illustrés par la **figure 18**.

Tableau 24: Composition physico-chimiques des différentes espèces étudiées.

Espèces	Variétés	Humidité (%)	Acidité grasse (%)	Cendre (%)	Acides phytiques (mg/100 g MS)
Pois chiche	Flip 90	12,23 ± 0,01	0,029 ± 0,003	2,83 ± 0,08	1,02 ± 0,02
Fève	Seville	12,05 ± 0,02	0,014 ± 0,001	2,75 ± 0,05	2,11 ± 0,01
Féverole	Giza 402	12,18 ± 0,01	0,012 ± 0,001	3,23 ± 0,02	1,74 ± 0,01
Lentille	CDC Richlea	10,10 ± 0,01	0,015 ± 0,002	2,90 ± 0,02	2,30 ± 0,02

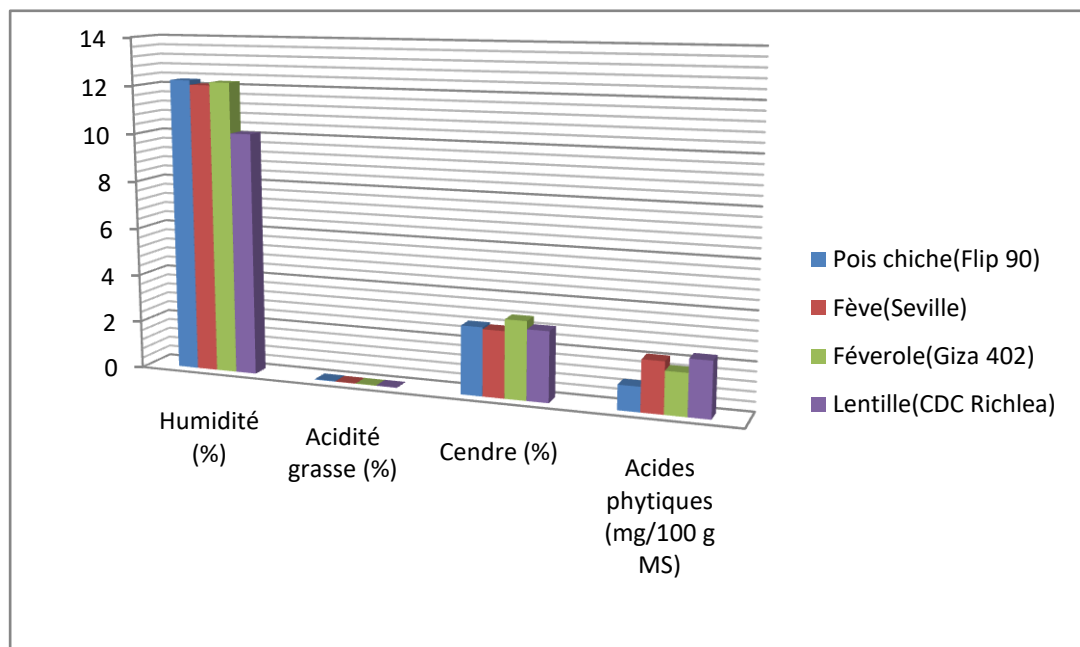


Figure 18: Composition physico-chimiques des espèces étudiées

III.1.2.1 Taux de cendres

La teneur en cendres est un indicateur de la pureté des farines et des semoules (JOURBERT *et al.*, 2018) ; elle définit leur types commerciaux (COLAS, 1998; FEILLET, 2000; GBOUGOURI *et al.*, 2019). Elle est en relation avec son taux d'extraction et la minéralisation des grains mis en mouture (BOUHOUCHE *et al.*, 2018). Généralement, les minéraux assurent des fonctions variées au sein de l'organisme; ils contribuent à la structure des différents tissus, ils interviennent dans le maintien des grands équilibres biologiques et exercent un rôle catalytique dans les systèmes enzymatiques et hormonaux (NASRI *et al.*,

2023). De plus, MAHMAH *et al.*, (2023) estiment qu' il est important de déterminer le taux de minéraux d'un aliment pour estimer certains paramètres tels que l'énergie.

Les résultats regroupés dans le **tableau 24** montrent que la fève, la féverole, le pois chiche et la lentille présentent des taux de cendres allant de $2,75 \pm 0,05$ % à $3,23 \pm 0,02$ %, proches de ceux émis par **AYKROUD et DOUGHTY (1982)** qui ont rapporté une moyenne de 3.4 % de taux de cendre dans les légumineuses. Ces valeurs se rapproches de celles trouvées par **HADJIPANAYIOTOU (2000)** dans les graines de *Vicia narbonensis* (4,5 %) et inférieures à celle de la paille (11,8 %). Contrairement, **SELMi et TSUNEYAMA (2010)** ont enregistré des taux plus élevés en cendres dans les graines de plusieurs autres espèces de vesce (*Vicia amphycarpa*, *Vicia sativa var. Mghilla*, *Vicia villosa* et *Vicia Languedoc*) et même chez d'autres provenances de la vesce de Narbonne.

III.1.2.2 Teneur en eau (Humidité)

La connaissance de la teneur en eau des produits est déterminante pour leur bonne conservation en raison de leur hygroscopicité (**CRUZ *et al.*, 2016**). Il est nécessaire de la diminuer jusqu'à 14 %, 12% et 7% selon l'utilisation (**COLAS, *et al.*, 2012**).

La teneur en eau des farines est un paramètre important à déterminer, car le mode opératoire de certaines méthodes analytiques, ainsi que la réalisation des tests biochimiques et rhéologiques et la précision des divers résultats analytiques exigent sa détermination (**BRADLY, 1998**). Sa connaissance est utile dans la préservation des produits (durée de conservation) (**COLAS, 1998**). Elle est exprimée par rapport à la matière sèche. Les taux d'humidité des farines consacrées à cette étude (**Tableau 24**) sont de l'ordre de $12,23 \pm 0,01$ %, $12,05 \pm 0,02$ %, $12,18 \pm 0,01$ % et $10,10 \pm 0,01$ % pour successivement les farines de pois chiche (Flip 90), fève (Seville), féverole (Giza 402) et la farine de lentilles (CDC Richlea). Ces valeurs sont inférieures aux teneurs maximales données par le **CODEX STAN 171-1989** qui est de 16 % et se situent dans l'intervall (10 à 16 %) requis par **CHENE (2001)**; **NEE KY *et al.*, (2017)**, ce qui permet leur bonne conservation car plus la teneur en eau de la farine est faible, plus il est possible de l'hydrater au pétrissage pour arriver à une consistance optimale de la pâte (**ALAIN-MARTIAL *et al.*, 2018**; **BOUHEDDADJ et BELARBI, 2022**; **WARDA *et al.*, 2023**).

Les farines de fève, féverole et pois chiche présentent des teneurs en eau proches de celles trouvées par **AMMOUCHE en 2002** (12,06 %, 12,30 % et 12,10 %) et légèrement supérieures aux taux annoncés par **HOSSAIN et MORTUZA, (2006)**; **NASRI *et al.*, (2023)**

(11,23 % en moyenne). Alors que la farine de lentille étudiée a un taux d'humidité de $10,10 \pm 0,01$ %, voisin de résultat donné par **BAGHERPOUR et al., (2010)** qui confirment que le taux d'humidité chez les lentilles est compris entre 11 et 12,1 %. Tous ces résultats obéissent aux normes internationales du **CODEX ALIMENTARIUS (FAO, 2007)** qui fixe un seuil maximal de 15 % d'humidité pour n'importe quelle farine à base de céréales ou de légumineuses.

III.1.2.3 Teneur en acides phytiques

L'acide phytique ou inositol-hexaphosphate est un composé présent dans les graines de légumineuses, fruits à coque et céréales ou il constitue la principale forme de stockage du phosphore (**PARAYRE et al., 2024**). Il est considéré comme un composé anti nutritionnel en raison de sa capacité de se lier à certains minéraux (Ca^{2+} , Fe^{2+} , Mg^{2+} et Zn^{2+}) ; ceci limite l'absorption de ces minéraux au niveau de l'intestin, induisant ainsi des carences nutritionnelles.

Les graines de légumes secs sont généralement riches en acides phytiques en comparaison avec les céréales (**REMOND et WARLAND, 2017**). Les résultats trouvés (Tableau 24) montrent des teneurs qui varient de $1,02 \pm 0,02$ mg/g MS pour le pois chiche (Flip 90), à $2,30 \pm 0,02$ mg/g MS pour la lentille (CDC Richlea). Néanmoins, les teneurs élevées en acides phytiques font des légumineuses une source réduite en phosphore assimilable puisque 18 à 20 % de ce dernier est sous forme phytique (**DAOUI, 2007**).

LOPEZ et al., (1998) et **FARDET, (2013)** affirment qu'il existe une littérature très abondante présentant l'acide phytique comme une substance nuisible pour la biodisponibilité des minéraux. Cependant, d'après, **BUREL et MEDALE (2014)**, les allégations sur l'acide phytique sont justifiées à partir d'expérimentations dans lesquelles ce dernier est incorporé dans les régimes alimentaires.

III.1.2.4 Teneur en acidité grasse

D'après **DA SILVA et al., (2019)** et **AMMOUCHE et al., (2024)**, l'acidité grasse constitue un indice d'altération de la qualité technologique de la farine. Elle peut être due à l'oxydation des acides gras polyinsaturés, qui provoque une dégradation enzymatique des lipides catalysés par la lipoxygénase, qui provoque par la suite un réarrangement des liaisons disulfure au sein du réseau protéique (**FEILLET, 2000; DABO et al., 2017**); ou par une réaction chimique en présence d'oxygène à température ambiante (autoxydation) ou activé par la lumière (photo- oxydation) (**ROSHID, et al., 2016**). Selon les normes requises, le taux

d'acidité d'une farine ne doit pas dépasser 0,05 %, (SIKA *et al.*, 2019) . En effet, des résultats regroupés dans le **tableau 24**, nous constatons que l'ensemble des variétés de légumineuses étudiées présentent des teneurs en acidité grasse de $0,029 \pm 0,003$ %, $0,014 \pm 0,01$ %, $0,012 \pm 0,001$ % et $0,015 \pm 0,002$ % pour successivement le pois chiche (Flip 90), la fève (Seville), la féverole (Giza 402) et la lentille (CDC Richlea). Ces valeurs sont conformes à normes exigées.

Les légumineuses possèdent d'importantes qualités nutritionnelles liées à leur forte teneur en protéines et en amidon. Elles participent à une alimentation durable, saine et abordable (**Tab. 25, Fig.19**).

Les résultats de l'analyse statistique montrent des différences significatives entre les groupes de légumineuses étudiées (pois chiche, fève, féverole et lentille), ce qui indique que le type de légumineuse influence de manière importante la variable mesurée. Le test de Tukey a révélé que la féverole (Giza 402) se distingue particulièrement par une moyenne plus élevée, avec des différences marquées par rapport au pois chiche et à la fève. Cependant, des différences significatives existent également entre les autres groupes. La lentille, quant à elle, se distingue par une moyenne plus faible. Ces résultats soulignent l'importance du type de légumineuse dans l'étude et suggèrent la nécessité d'une exploration plus approfondie à travers des tests post-hoc pour préciser les différences spécifiques entre certains groupes

Tableau 25: Teneurs en amidon, lipide et protéines des variétés de légumes sec étudiées

Espèces	Variétés	Amidon (%) MS	Lipide (%) MS	Protéines (%) MS
Pois chiche	Flip 90	$51,90 \pm 0,03$	$5,64 \pm 0,02$	$22,35 \pm 0,02$
Fève	Seville	$46,05 \pm 0,007$	$1,80 \pm 0,02$	$30,25 \pm 0,01$
Féverole	Giza 402	$45,18 \pm 0,01$	$1,76 \pm 0,007$	$28,62 \pm 0,02$
Lentille	CDC Richlea	$40,10 \pm 0,01$	$2,06 \pm 0,02$	$25,44 \pm 0,02$

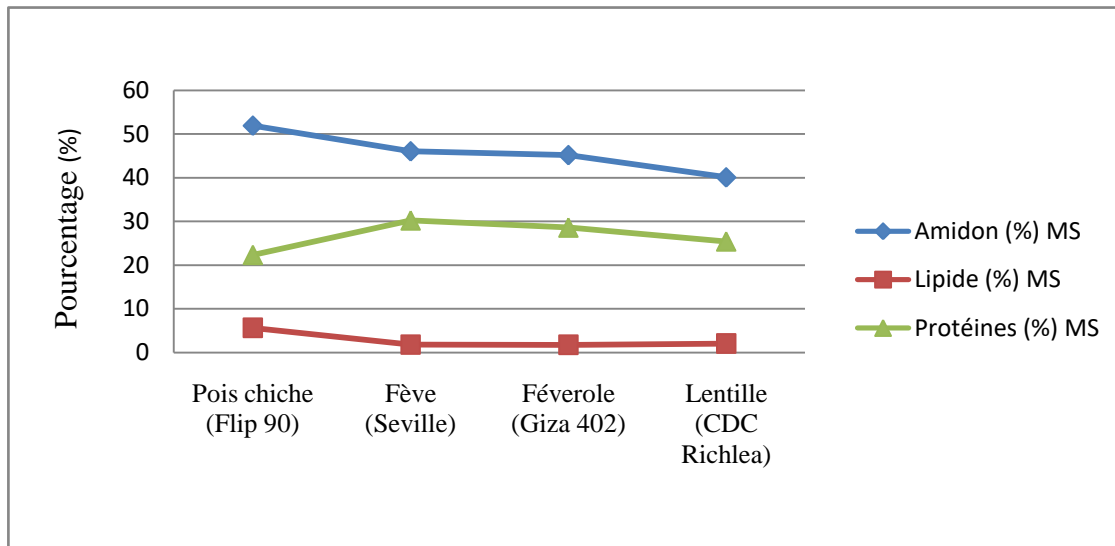


Figure 19: Teneurs en amidon, lipide, et protéines des variétés de légumes secs étudiées

III.1.2.5 Teneur en amidon

Composant essentiel, l'amidon représente 30 à 70 % de MS des graines de légumineuses (NOSWORTHY *et al.*, 2020). Il se présente se forme de grains plus ou moins enchâssés dans la matrice protéique. Les quatre espèces de légumes secs étudiées (Tab. 25, Fig. 19) donnent des teneurs en amidon de $51,90 \pm 0,03$ % de MS, $46,05 \pm 0,007$ % de MS, $45,18 \pm 0,01$ % de MS et $40,10 \pm 0,01$ % de MS pour successivement le pois chiche (Flip 90), la fève (Seville), la féverole (Giza 402) et la lentille (CDC Richlea). Ces valeurs sont comprises dans l'intervalle (20 à 60 %) donné par HALL *et al.*, (2017) et avoisinent les résultats de GARNIER *et al.*, en 2024.

III.1.2.6 Teneur en lipides totaux

Les résultats regroupés dans le tableau 25 montrent que la teneur moyenne des légumes secs en lipides est relativement faible et ne dépasse guère les 2 % de MS ($1,80 \pm 0,02$ % de MS pour la fève, $1,76 \pm 0,007$ % de MS pour la féverole et $2,06 \pm 0,02$ % de MS pour la lentille) à l'exception du pois chiche qui constitue une source relativement riche ($5,65 \pm 0,02$ %). Ces données confirment celles de nombreux auteurs à savoir, BOUCHAIR et BOURAD (2016); REMOND et WARLAND, (2017); SUHA *et al.*, (2018); CRISTINA *et al.*, (2020); DARIMONT, (2022); et GUIRROU, *et al.*, (2022). En effet, la composition des lipides des légumineuses est proche de celle des céréales avec un caractère polyinsaturé marqué et une prédominance de l'acide linoléique (REMOND et WARLAND, 2017; BOUHEDDADJ et BELARBI, 2022). Les triglycérides en représentent 90 % des lipides totaux (CHIAVAROLI *et al.*, 2022).

NASRI *et al.*, (2023) estiment que les lipides sont des constituants biologiques nutritionnellement importants du point de vue calorique et de l'apport en acides gras essentiels ainsi qu'en vitamines liposolubles. Cependant, au cours de l'extraction des lipides totaux des farines, plusieurs paramètres affectent leur taux tels que la granulométrie, l'humidité, la nature du solvant et la méthode d'extraction utilisée (MICARD *et al.*, 2010; RAWAL *et NAVARRO*, 2019).

III.1.2.7 Teneur en protéines totales

Les valeurs en protéines des légumes secs étudiées sont données dans le **tableau 25** et illustrées par **la figure 19**. Il en ressort que la fève (Seville) présente le taux le plus élevé ($30,25 \pm 0,01$ % de MS), la féverole ($28,62 \pm 0,02$ % de MS), la lentille ($25,44 \pm 0,02$ % de MS) et le pois chiche ($22,35 \pm 0,02$ % de MS). Ces teneurs sont assez élevées et varient entre 18 et 24 % de MS, peuvent atteindre 30 à 35 % de MS dans la fève et oscillent les 45 % de MS dans les graines de soja (GUILLIN *et al.*, 2022).

De point de vue nutritionnel, les graines de légumineuses se caractérisent par leurs teneurs élevées en protéines (REMOND *et WARLAND*, 2017; ASSAD-BUSTILLOS, 2020) mais leur aptitude à satisfaire les besoins protéiques dépend de la composition en acides aminés de ces protéines (CUQ, 2018).

GUIRROU *et al.*, (2022) affirment que la teneur en protéines des graines de légumineuses est supérieure à celle des céréales, elles fournissent environ 8 % des ressources mondiales en protéines (BRACHER, 2019) et constituent en association avec les céréales la base de l'alimentation dans de nombreux pays en voie de développement.

Les résultats de l'ANOVA révèlent des différences significatives pour l'un ou plusieurs des paramètres étudiés, cela indiquerait que la composition des légumineuses varie de manière importante selon le type d'espèce, ce qui peut influencer leur utilisation dans diverses industries (alimentaire, nutritionnelle, etc.). La très faible p-value (2,18) obtenue, accompagnée d'une valeur élevée du test F (133384,42) démontre que les différences observées ne sont pas dues au hasard, mais sont bien réelles et significatives. Ces résultats suggèrent que le type de légumineuse exerce un effet notable sur la variable mesurée, qu'il s'agisse de la production, de la qualité ou d'une autre caractéristique d'intérêt. En somme, le facteur "type de légumineuse" influence de manière significative les résultats, justifiant ainsi les différences entre les groupes.

Les pois chiches, avec leur forte teneur en amidon, sont probablement les plus adaptés pour les produits alimentaires nécessitant une forte proportion de glucides. Ils ont également une teneur en lipides plus élevée, ce qui pourrait être intéressant pour des applications spécifiques comme l'extraction d'huile végétale. Concernant, les fèves et la féverole, avec leur plus grande teneur en protéines, elles pourraient être préférées pour les produits à base de protéines végétales.

III.1.2.8 Composition en acides aminés

Les graines de légumineuses présentent un intérêt sur le plan de la richesse en protéines et de l'équilibre en acides aminés. Les profils en acides aminés des variétés de légumineuses étudiées sont regroupés dans les **tableaux 26 et 27** et illustrés par les **figures 20 et 21**. Il en ressort que les légumineuses présentent un bon équilibre dans leur profil en acides aminés essentiels, néanmoins, elles sont riches en lysine et déficientes en acides aminés sulfurés en comparaison à la protéine de référence (FAO, 1999).

Les teneurs en acides aminés de fève (Seville), féverole (Giza 402), pois chiche (Flip90) et lentilles (CDC Richlea) sont très proches et confirment les résultats émis par LECERF, (2016); GALLARDO, (2017) et VAZ PATTO *et al.*, (2018).

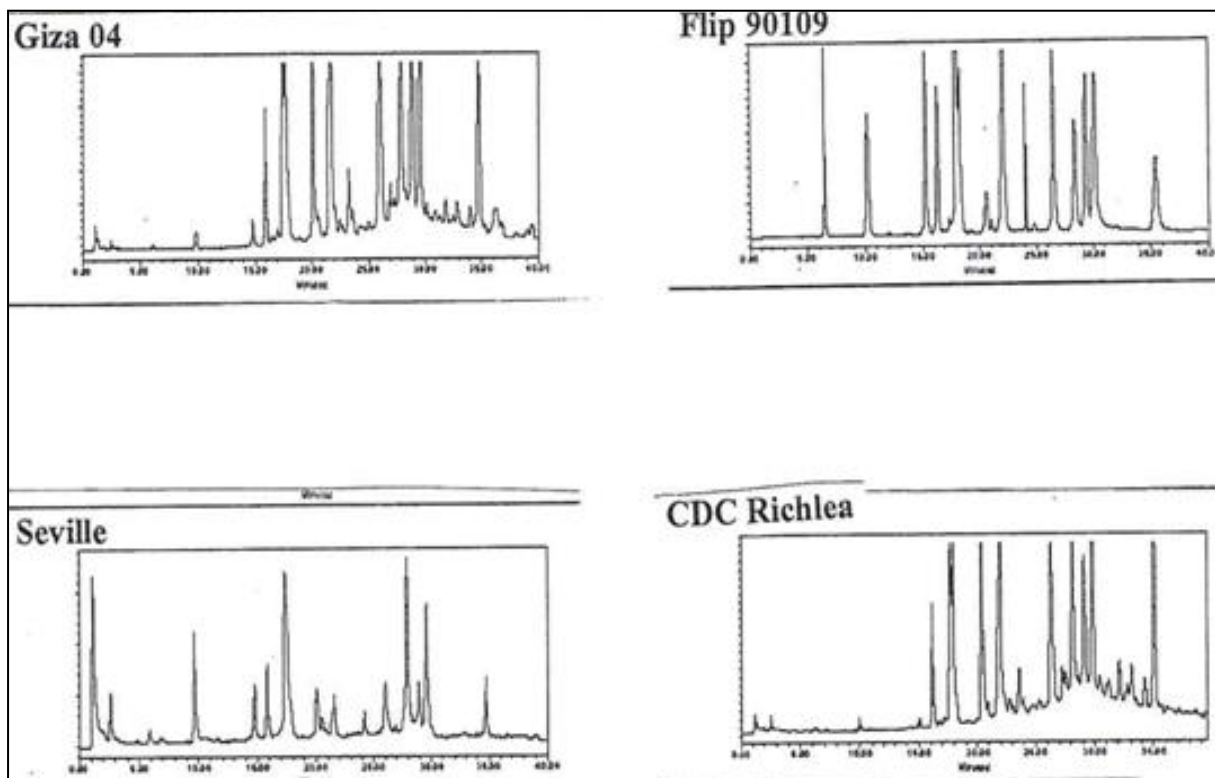


Figure 20: Profil en acides aminés des légumineuses étudiées

Tableau 26: Teneurs en acides aminés des variétés de légumineuses (g/16g N)

Espèces A.A (g/16 g N)	Fève (Seville)	Féverole (Giza 402)	Pois chiche (Flip 90)	Lentille (CDC Richlea)
Cystéine	1,16 ± 0,01	1,23 ± 0,02	1,18 ± 0,01	1,16 ± 0,01
A. Aspartique	5,22 ± 0,01	5,43 ± 0,01	6,55 ± 0,03	6,66 ± 0,02
A. Glutamique	17,50 ± 0,02	17,44 ± 0,01	15,61 ± 0,02	15,22 ± 0,01
Sérine	6,00 ± 0,02	5,73 ± 0,02	6,06 ± 0,02	6,42 ± 0,01
Histidine	2,50 ± 0,03	1,61 ± 0,01	2,00 ± 0,02	1,73 ± 0,01
Arginine	7,99 ± 0,02	8,70 ± 0,02	8,02 ± 0,07	8,33 ± 0,01
Thréonine	3,99 ± 0,02	3,22 ± 0,01	4,00 ± 0,02	4,55 ± 0,02
Alanine	4,25 ± 0,01	3,82 ± 0,01	3,26 ± 0,01	3,24 ± 0,01
Tryptophane	0,65 ± 0,01	0,70 ± 0,01	0,60 ± 0,04	0,55 ± 0,01
Méthionine	2,30 ± 0,02	2,22 ± 0,01	1,30 ± 0,01	1,40 ± 0,01
Valine	6,40 ± 0,02	5,70 ± 0,01	4,60 ± 0,02	3,99 ± 0,02
Isoleucine	4,43 ± 0,01	4,12 ± 0,01	4,20 ± 0,02	4,50 ± 0,02
Leucine	7,00 ± 0,005	7,60 ± 0,02	7,90 ± 0,01	7,20 ± 0,01
Lysine	6,10 ± 0,02	5,65 ± 0,02	6,80 ± 0,02	7,20 ± 0,01

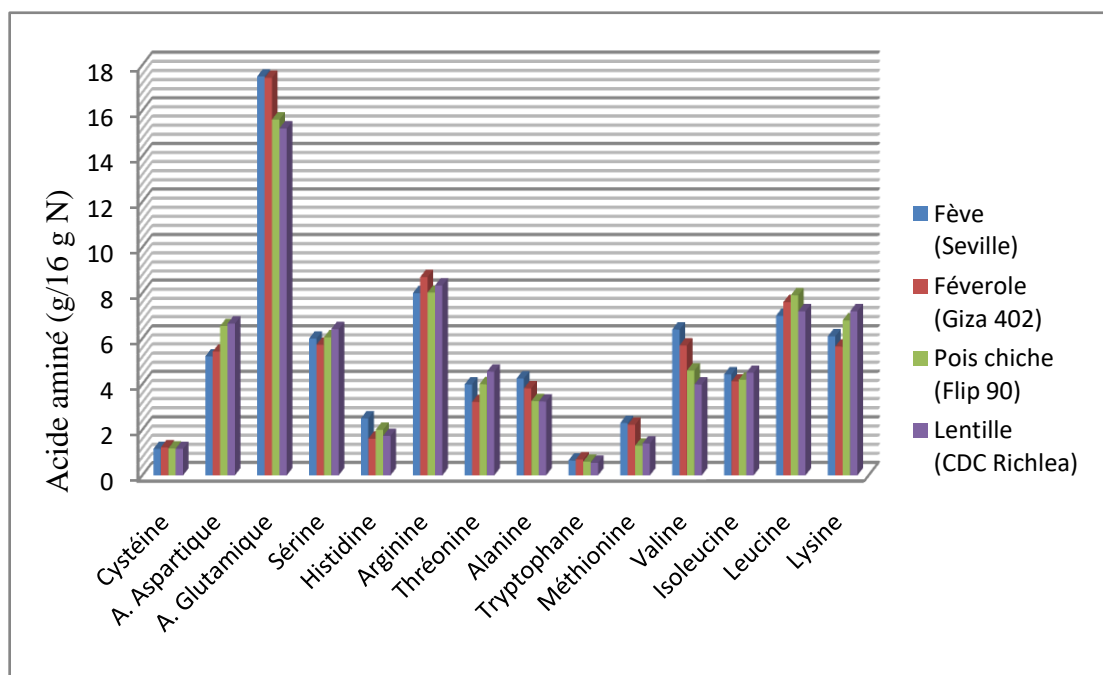


Figure 21: Teneurs en acides aminés des variétés de légumineuses (g/16gN).

Parmi les végétaux, les légumineuses ont donc pour avantage des teneurs relativement élevées en protéines et en lysine (**REMOND, et al., 2016; CUQ, 2018**). Ce dernier est aussi bien représenté dans certaines graines que dans les produits d'origine animale (**GIDENNE et al., 2015; VAZ PATTO et al., 2018**).

Tableau 27: Teneurs en acides aminés des variétés de légumineuses (mg/g N)

Espèces A.A (mg/ g N)	Fève (Seville)	Féverole (Giza 402)	Pois chiche (Flip 90)	Lentille (CDC Richlea)
Cystéine	72	77	74	72
A. Aspartique	326	340	409	416
A. Glutamique	1094	1090	976	951
Sérine	375	358	378	401
Histidine	156	101	125	109
Arginine	499	544	501	522
Thréonine	249	201	250	284
Alanine	266	239	204	202
Tryptophane	41	44	37	34
Méthionine	144	139	81	87
Valine	400	356	287	249
Isoleucine	277	257	262	281
Leucine	437	475	494	450
Lysine	381	353	425	450

Les légumes secs sont donc considérés comme étant la viande du pauvre (**MAGRINI et al., 2017**), malgré leurs déficiences en acides aminés soufrés et en tryptophane (**BARONI et al., 2023**).

Les indices chimiques des légumineuses sont utilisés pour évaluer leur qualité protéique concernant la composition en acides aminés essentiels. La protéine de référence la plus couramment utilisée est celle de l'œuf, de fait qu'elle présente un profil en acides aminés idéal.

Les résultats des indices chimiques des acides aminés essentiels comparés à la protéine de référence sont regroupés dans le **Tableau 28** et illustrés par la **figure 22**.

Tableau 28: Indices chimiques des acides aminés essentiels comparés à la protéine de référence (FAO 1999)

Espèces A.A (mg/ g N)	Fève (Seville)	Féverole (Giza 402)	Pois chiche (Flip 90)	Lentille (CDC Richlea)	Protéine de référence FAO 1999
A. A soufrés (Cys+Met)	216	216	155	159	220
Thréonine	249	201	250	284	250
Valine	400	356	287	249	310
Isoleucine	277	257	262	281	250
Leucine	437	475	494	450	440
Lysine	381	353	425	450	340
Tryptophane	41	44	37	34	60

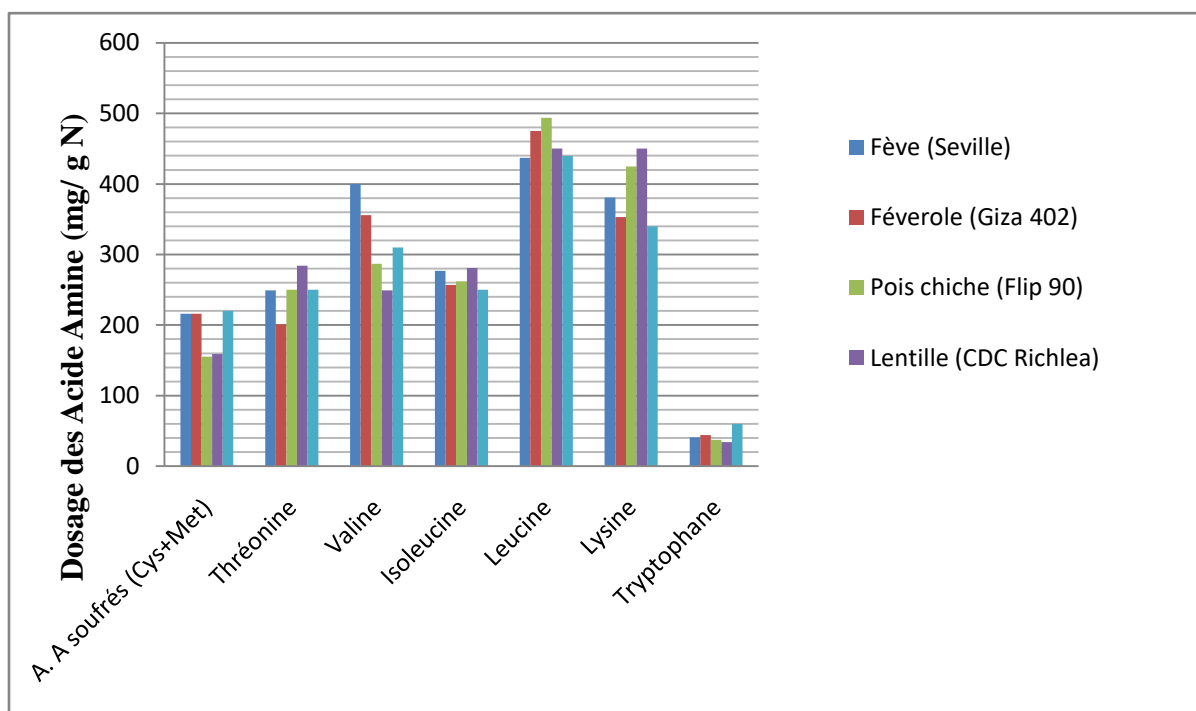


Figure 22: Indices chimiques des acides aminés essentiels comparés à la protéine de référence (FAO 1999)

Malgré que les légumineuses sont une source importante en protéines, elles présentent des profils d'acides aminés différents, déficients en acides aminés soufrés (Méthionine et Cystéine) et riche en lysine.

Des résultats trouvés concernant les différentes variétés de légumineuses étudiées, il ressort que leur teneurs en lysine sont élevées (381 mg/g, 353 mg/g, 425 mg/g et 450 mg/g pour successivement la fève, la fêverole, le pois chiche et la lentille. Cependant, elles sont pauvres en tryptophane (34 mg/g pour la lentille, 37 mg/g pour le pois chiche, 41 mg/g pour la lentille) et en acides aminés soufrés (Méthionine et Cystéine) avec des taux allant de 155mg/g pour le pois chiche et 216 mg/g pour la fève et la féverole. Ces résultats corroborent avec ceux donnés par **LECERF (2016); LALEG (2016); MEDJAHED et al., (2024),**

Notons toutefois que les teneurs en acides aminés sont assez proches quelle que soit la variété de légumineuses considérée (**DARIMONT, 2022**).

Plusieurs auteurs ont attribué au rapport (Lysine/Arginine) un rôle sur le niveau du cholestérol sanguin: les aliments d'origine animale (produits laitiers) ou se rapport est supérieur à 1 provoquera une augmentation du taux de cholestérol, alors que les légumineuses, pour lesquelles ce rapport est inférieur à 1, s'y opposeront (**CUQ, 2018; MARIOTTI et GARDNER, 2020; GULLIN, 2021**).

Les résultats de l'ANOVA montrent qu'il existe des différences significatives entre les groupes. Le F calculé (57,56) est beaucoup plus élevé que la valeur critique pour F (2,57) à un niveau de significativité de 0,005 et la p-value est extrêmement faible (5, 92), ce qui permet de rejeter l'hypothèse nulle. Par conséquent, on peut conclure que les différents groupes (acides aminés) ont des moyennes qui diffèrent de manière significative. Ces résultats suggèrent que les facteurs testés (probablement des propriétés chimiques ou biochimiques des acides aminés) ont un impact significatif sur les mesures observées. Les résultats indiquent aussi des différences significatives pour certains acides aminés, cela suggérerait que les espèces de légumineuses diffèrent de manière importante dans leur profil en acides aminés, ce qui peut avoir des implications dans leur valeur nutritionnelle et leur utilisation dans des régimes alimentaires spécifiques. Les acides aminés essentiels tels que la méthionine, la leucine et la lysine peuvent être particulièrement influents pour les applications alimentaires et les régimes végétariens.

Beaucoup d'études scientifiques rapportent les avantages pour la santé de consommer un régime végétal et d'augmenter l'apport alimentaire de légumineuses (**GUEGUEN et al., 2016; REMOND et WARLAND, 2017; ASSAD-BUSTILLOS, 2020**). Selon, **SALOME, (2021)**, les individus consommant des quantités élevées de fruits, de légumes, de grains et graines entières, de légumineuses et de fruits à coque présentent généralement un plus faible risque de développer une maladie cardiaque, de l'hypertension artérielle, un accident

vasculaire cérébral ou un diabète de type 2. Ainsi, les légumineuses font partie intégrante de nombreux modes alimentaires considérés comme sains, y compris le régime méditerranéen et les régimes à faible indice glycémique. En plus d'être un aliment intéressant sur le plan diététique et nutritionnel, les légumineuses peuvent jouer un rôle important dans la prévention et la gestion d'un certain nombre de problèmes de santé, en particulier les pathologies chroniques (**CHOURAQUIF et al., 2013; RIO, 2017**).

Les études épidémiologiques ont nettement dévoilé l'utilisation des légumineuses dans certains régimes alimentaires comme pour le traitement de la maladie cœliaque de fait qu'elles soient exemptes du gluten (**KADDOUR et al., 2023**), et aussi leur contribution à la prévention contre certaines maladies surtout le cancer (**REMOND et WARLAND, 2017**). Toutefois, **MARIOTTI et GARDNER, (2020)** estiment que ces graines sont très pauvres en méthionine et cystéine qui sont deux acides aminés essentiels pour l'homme. Ainsi, ils peuvent être améliorés remarquablement par complémentation avec les régimes à base de produits céréaliers riches en acides amines soufres à des proportions variables de 5 à 10 %. Ils renferment aussi beaucoup de facteurs antinutritionnels (phytates, tanins, inhibiteurs de protéases, lectines, composés cyanogénétiques, saponines...) capables d'affecter leur valeur nutritionnelle en perturbant la digestion et/ou la biodisponibilité des nutriments (**RIO, 2017**). Le recours à l'état cru aux différents procédés technologiques (traitements hydrothermiques, cuisson aux infrarouges, torréfaction, germination ...) néanmoins détruisent ces facteurs antinutritionnels et améliorent efficacement de leur valeur nutritionnelle (**LECERF, 2016**).

III.2 Elaboration de produits alimentaires sans gluten

La maladie cœliaque (MC) représente un problème de santé publique dans beaucoup de pays y compris aux États-Unis et en Europe. Une prévalence très élevée est décrite au Moyen Orient et également en Afrique du Nord, alors qu'en Algérie, peu de données sont disponibles sur la fréquence de cette maladie. Elle reste, cependant, dangereuse, à cause de ses complications dues surtout à l'inobservance du régime alimentaire, très contraignant.

Ainsi, l'alimentation sans gluten constitue le traitement de base de la prise en charge de la maladie cœliaque, causée par une sensibilité et une allergie au gluten Elle correspond à la suppression totale de ce composé de l'alimentation.

III.2.1 Elaboration d'un biscuit (cookies)

Les biscuits sans gluten élaborés (**Fig. 23**) sont de type Cookies conçus à base de farine de pois chiche (Flip 90) et de farine de fève (Seville).



Figure 23: Cookies sans gluten élaborés à base de farine de pois chiche (Flip90) et de farine de fève (Seville) (**Originale**)

III.2.1.1 Résultats des analyses physicochimiques

Les résultats enregistrés pour les analyses physicochimiques du biscuit élaboré (cookies) sont présentés dans le **tableau 29**.

Tableau 29: Résultats des analyses physicochimiques du produit fini (Cookies)

Echantillons Paramètres	Farine de fève (F) (Seville)	Farine de pois chiche (PC) (Flip90)	Farines de mélange PC+F (50%/50%)	Cookies élaborés
pH	6,65 ± 0,01	6,75 ± 0,03	5,82 ± 0,03	6,55 ± 0,02
Humidité (%)	12,23 ± 0,01	12,05 ± 0,02	12,20 ± 0,10	2,10 ± 0,03
Protéines (%)	30,25 ± 0,01	22,35 ± 0,02	23,70 ± 0,10	21,01 ± 0,02
Lipides (%)	1,80 ± 0,01	5,64 ± 0,02	5,40 ± 0,10	8,6 ± 0,02
Amidon (%)	46,05 ± 0,01	51,90 ± 0,04	47,01 ± 0,02	42,90 ± 0,01

D'après les résultats donnés dans le **tableau 29** et illustrés par la **figure 24**, nous constatons que le **PH du produit élaboré (cookies)** ($6,55 \pm 0,02$) est proche de la norme recommandée (max 7,5). Sa teneur en eau ($2,10 \pm 0,03$ %) est nettement inférieure à la valeur maximale des normes requises pour les biscuits en général (5%).

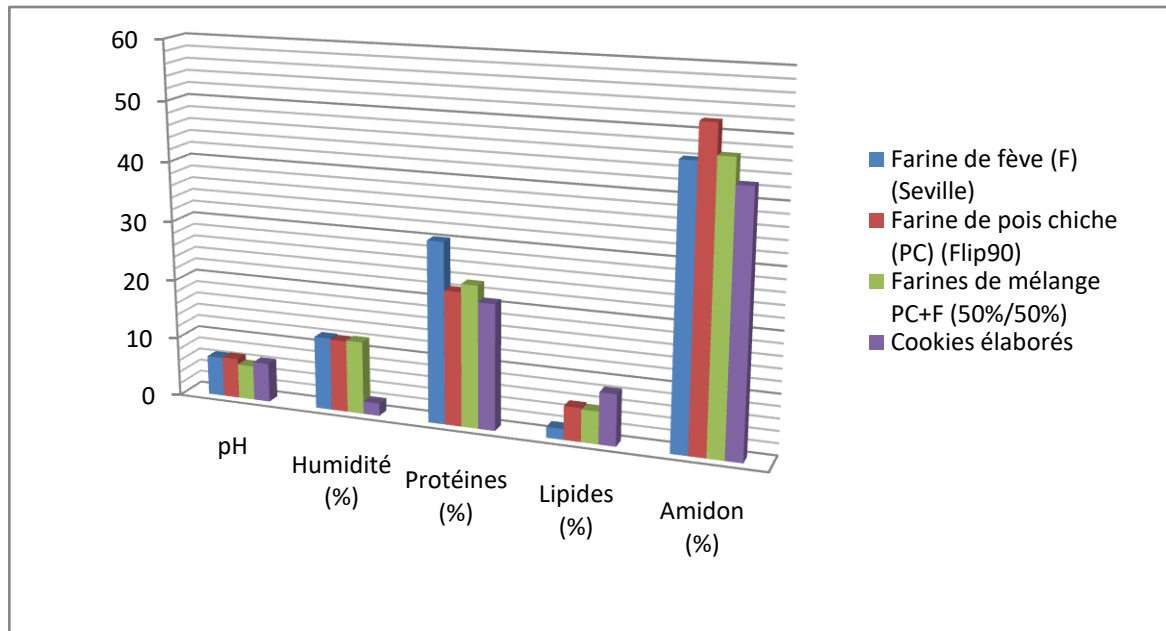


Figure 24: Résultats des analyses physicochimiques du produit fini « Cookies »

Nous remarquons aussi une différence très significative entre la **teneur en eau** de la farine de mélange (Pois chiche et Fève) et celle du produit fini ($12,20 \pm 0,1$ % à $2,10 \pm 0,03$ %), Ce qui est dû aux conditions de cuisson (évaporation d'eau au cours de cuisson) (KAOUANE, 2022). Cette faible teneur en eau favorise une bonne conservation du produit fini « cookies » (NONO *et al.*, 2002; NASSY et LECERF, 2024).

La **teneur en lipide** du biscuit sans gluten confectionné montre une augmentation très significative qui passe de $5,40 \pm 0,1$ % MS à $8,60 \pm 0,02$ % MS, probablement due à l'ajout de la matière grasse végétale (margarine) au cours de sa préparation. D'après DILER *et al.*, (2019), l'addition de la matière grasse dans la recette de préparation contribue à l'amélioration de la qualité gustative des biscuits. Cette forte teneur en matières grasses confère aux biscuits un fort potentiel calorifique et contribue à l'amélioration de sa qualité nutritionnelle (VAN GOSSUM, 2016; KAOUANE, 2022).

Quant à la **teneur en amidon**, et d'après les résultats mentionnés dans le tableau 29,

nous remarquons que la teneur en glucides totaux des cookies élaborés est de $42,90 \pm 0,01$ % de MS, avec une légère diminution signalée par rapport à la farine de mélange ($47,01 \pm 0,02$ % de MS), probablement due aux conditions de cuisson des biscuits sans gluten. Ces résultats sont proches de ceux évoqués par **LECERF** en **2016** et **REMOND** et **WARLAND** en **2017**.

Le produit élaboré « cookies » présente une légère diminution de **la teneur en protéines** passant de $23,70 \pm 0,1$ % MS à $21,01 \pm 0,02$ % MS, cette diminution est justifiée par la dénaturation (gélatinisation) des protéines au cours de la cuisson sous l'effet d'une haute température (180°C) (**BELAMRI et al., 2023**), puisque à partir de 40°C , les protéines commencent à dénaturer (**POUYAT-LECLERE et al., 2005**; **JOLIAT et SCHLAEPPY, 2019**; **LEFEVRE, 2022**).

Les protéines jouent un rôle important dans la réaction de brunissement non-enzymatique (**Maillard**). Cela peut être la raison de la diminution de la teneur en protéines au cours de la cuisson (**MACHIELS et ISTASSE, 2002**; **PORTHA et LIU, 2023**).

Les résultats de l'ANOVA montrent qu'il existe des différences significatives entre les groupes. La p-value étant très faible (1,56), il est évident que les variations observées ne sont pas dues au hasard. Ainsi, on peut conclure que les différents facteurs (pH, humidité, protéines, lipides, amidon) influencent de manière significative les valeurs mesurées dans l'étude. Cette analyse permet d'affirmer que des différences substantielles existent entre les groupes, ce qui pourrait avoir des implications pratiques dans le contexte de l'étude.

III. 2.1.2 Résultats de l'analyse sensorielle

La qualité organoleptique joue un rôle très important dans la valeur commerciale des denrées alimentaires. Elle se fait par la réalisation de l'analyse sensorielle en se basant sur la perception faite par les organes des sens dont plus précisément dans notre cas la vue, le goût, l'odorat et le toucher.

A travers les notes attribuées aux différents dégustateurs (**Fig. 25**), nous avons pu tracer le profil sensoriel de biscuit élaboré (cookies).

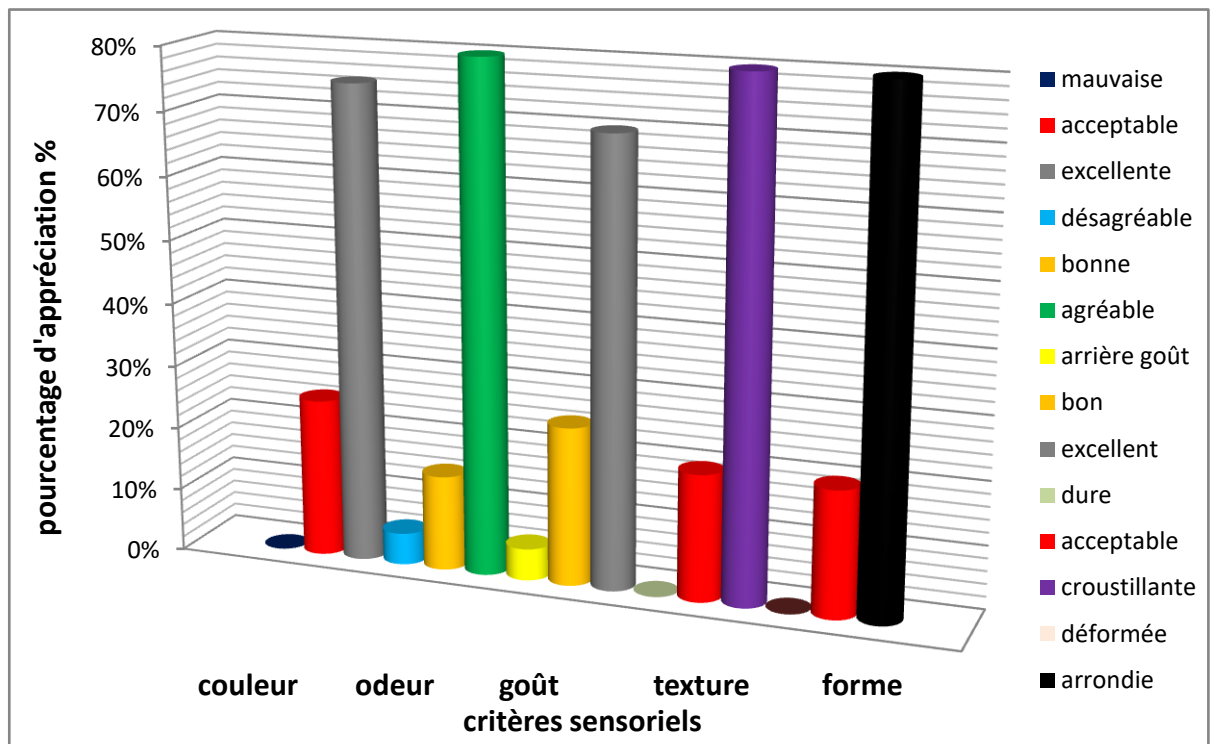


Figure 25: Présentation graphique du profil sensoriel du produit fini « Cookies ».

III.2.1.2.1 Couleur

La couleur est le premier paramètre à évaluer sachant que l'observateur lui accorde une grande importance et ceci pour apprécier la qualité et la fraîcheur d'un produit (ALONGI et al., 2024).

A partir des résultats obtenus, nous remarquons que le critère couleur a été jugé excellent par l'ensemble des dégustateurs avec un taux de 75 %.

Le développement de la couleur est influencé par la réaction de **Maillard** c'est-à-dire que la réaction entre les sucres et les protéines du produit lors de la cuisson se traduit par une couleur brune (YEFSAH-IDRES et al., 2019; DESIRE et al., 2021; REYROLLE, 2022). Ce développement dépend, selon CHEMACHE et al., (2018) également du temps, de la température de cuisson et de l'humidité dans le four.

En outre, le sucre joue un rôle important dans le développement de la couleur de biscuit pendant la cuisson, sa caramélisation à une température supérieure à 149° C donne la couleur recherchée de la face extérieure (DARIMONT, 2022).

III.2.1.2.2 Odeur

L'odeur possède un impact considérable sur l'appréciation finale du produit élaboré (AMMOUCHE et al., 2024), l'imperceptibilité de l'odeur est en partie due à la cuisson en

raison de l'élévation de la température qui provoque la volatilité des composés aromatiques (YEFSAH-IDERS *et al.*, 2019).

Les résultats obtenus désignent que l'odeur est jugée « Agréable » par l'ensemble des dégustateurs avec un pourcentage très élevé qui est de 80 %.

III.2.1.2.3 Texture

La texture du biscuit élaboré (cookies) est qualifiée de « croustillante » par l'ensemble des dégustateurs, elle est influencée, selon CHAUNIER, (2005) et Di CAIRANO *et al.*, (2022) par les ingrédients appliqués dans la formulation du biscuit, il s'agit principalement de sucre qui agit en tant qu'agent durcissant en se cristallisant pendant le refroidissement du biscuit ce qui rend le produit croustillant.

III.2.1.2.4 Goût et saveur

Paramètres essentiels pour l'évaluation de la qualité gustative des biscuits, le goût et la saveur dépendent principalement des ingrédients utilisées dans leur préparation (RODRIGUEZ-RODRIGUEZ *et al.*, 2019; SIDONIE *et al.*, 2021). Les ingrédients ayant la plus forte influence sont la farine, la matière sucrante et la matière grasse (DONES, 2021; DARIMONT, 2022; HOUEDO *et al.*, 2023). A partir des résultats obtenus nous remarquons que le critère goût est jugé « Excellent » par l'ensemble de dégustateurs avec un pourcentage de 70 %.

III.2.1.2.5 Forme des biscuits élaborés

L'aspect est un paramètre indispensable à l'admissibilité et à l'évaluation d'un point de vue général de l'apparence du produit fini (RODRIGUEZ-RODRIGUEZ *et al.*, 2019). D'après les résultats mentionnés nous constatons que la forme est qualifiée d' « Arrondie » par la majorité des dégustateurs avec un pourcentage de 85 %.

III.2.2 Elaboration d'une pâte alimentaire

Les légumineuses riches en protéines et en lysine, offrent une alternative pour produire des pâtes sans gluten, avec un faible indice glycémique. Les propriétés des pâtes sans gluten élaborées à partir de farines de légumineuses sont comparées à celles des pâtes à base de blé commercialisé (Qualité culinaire). Cette étude souligne le potentiel nutritionnel des pâtes entièrement faites de légumineuses, particulièrement pour les personnes intolérantes au gluten.

Le produit alimentaire sans gluten confectionné (**Fig. 26**) est un genre de pâtes conçues à base de farine de lentille (CDC Richlea).



Figure 26: Pâtes alimentaires confectionnées après cuisson (**Originale**).

III.2.2.1 Résultats des analyses physico-chimiques du produit élaboré

Les résultats des analyses physico-chimiques des pâtes alimentaires sont cités dans le **tableau 30** et illustrés par la **figure 27**.

Tableau 30: Résultats des analyses physico-chimiques des pâtes alimentaires.

Echantillons / Paramètres	Farine de lentilles (CDC Richlea)	Pâtes sans gluten élaborées
pH	6,85 ± 0,01	6,96 ± 0,01
Humidité (%)	10,10 ± 0,1	8,90 ± 0,01
Taux de cendre (%)	3,25 ± 0,02	2,75 ± 0,02
Protéines (%)	25,44 ± 0,02	22,70 ± 0,02
Lipides (%)	2,06 ± 0,02	2,96 ± 0,02
Amidon (%)	40,10 ± 0,02	38,50 ± 0,02

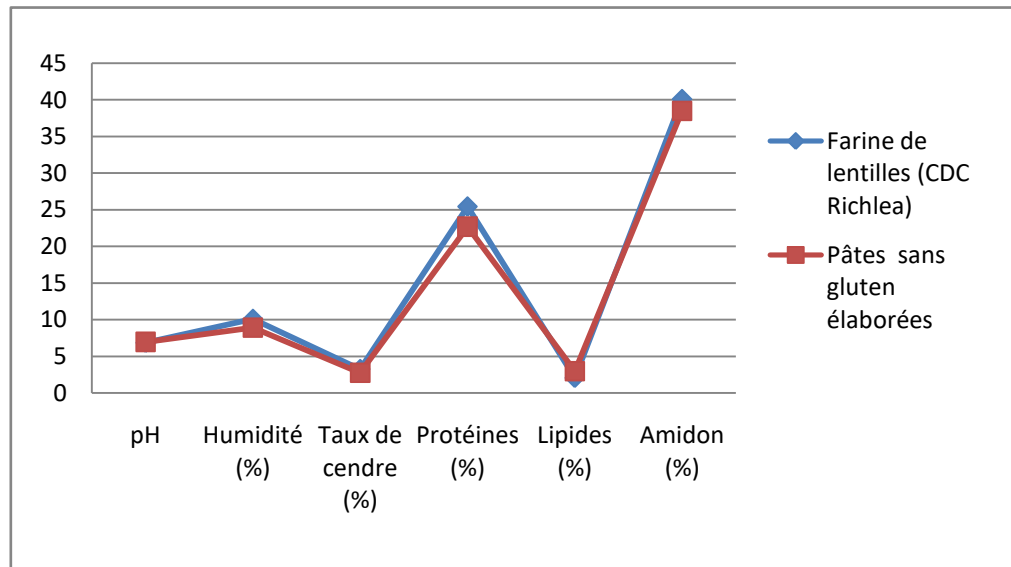


Figure 27: Résultats des analyses physico-chimiques des pâtes alimentaires.

Le dosage de **l'humidité** permet de diminuer les risques d'altération lors du conditionnement et du stockage (MISBAH *et al.*, 2022) car ce paramètre est un facteur essentiel dans la prolifération des micro-organismes (CHEMACHE *et al.*, 2018). En effet, des taux d'humidité supérieurs à 12,5 % exposent les pâtes alimentaires aux altérations des moisissures et rendent l'opération de conditionnement et de stockage difficile (ZONGO *et al.*, 2024).

Concernant les résultats de l'analyse de l'humidité, nous remarquons une légère diminution de la teneur en eau de produit élaboré par rapport à la matière première passant de $10,10 \pm 0,01$ % à $8,90 \pm 0,01$ %. Cette baisse peut s'expliquer selon SAULNIER et MICARD, (2012) par les conditions de cuisson et l'évaporation de l'eau lors de la préparation du produit fini sous l'effet de la chaleur ce qui favorisera une bonne conservation à long terme ((LECERF, 2016; KAOUANE, 2022).

La teneur et la composition en **matière minérale** des grains sont fixes quelques soient les conditions externes de culture (GOBAT *et al.*, 2010; SLUKOVA *et al.*, 2021). D'après, AFILAL *et al.*, (2014), le taux de **cendres** représente les résidus inorganiques restant après l'incinération de la matière organique dans les produits alimentaires. C'est le contenu total en éléments minéraux (VODOUCHE-EGUEH, 2017).

Après la cuisson, la proportion de minéraux restante de la matière minérale passe de $3,25 \pm 0,02$ % à $2,75 \pm 0,02$ %. Cette réduction observée résulte de la dissolution des minéraux solubles des graines dans l'eau évaporée des pâtes alimentaires confectionnées entraînant ainsi la perte à la cuisson (LALEG *et al.*, 2017; BOURDREZ et CHRIKI,

2022).

Le produit élaboré présente aussi un **pH** acceptable ($6,96 \pm 0,01$) et proche de la neutralité ce qui évitera la dégradation microbiennes de la denrée alimentaire lors du stockage (MULUME *et al.*, 2024).

Donc, les légumineuses naturellement exemptes de gluten et riches en protéines, offrent une alternative prometteuse. Elles contiennent de 24 à 28 % de protéines et donc jusqu'à 4 fois plus qu'une céréale, les lentilles en contiennent 25,6 %. De plus elles présentent un profil très intéressant en acides aminés indispensables. En outre, leur teneur élevée en fibres, particulièrement dans le cas des lentilles avec 30,5 % (contre 2 % seulement pour les céréales) (LALEG *et al.*, 2017).

OLIVEIRA *et al.*, (2019) affirment que la qualité nutritionnelle d'un produit alimentaire dépend de la **teneur en protéines** et le profil en acides aminés de la matière première mise en oeuvre pour son élaboration, ainsi que la variété et la qualité de ces composants biochimiques (CHEMACHE *et al.*, 2018; GHEISS, 2021).

A partir des résultats donnés dans le **tableau 30**, nous constatons une baisse légère de la teneur en protéines dans le produit fini (pâtes alimentaires élaborées), passant de $25,44 \pm 0,02$ % à $22,7 \pm 0,02$ %, attribuée à la gélatinisation des protéines lors de la cuisson à haute température (180°C). Cette diminution est aussi justifiée par la dénaturation des protéines sous l'effet de la chaleur (LEFEVRE, 2022). En effet, SOUCHON et BRAESCO (2022) avancent que la cuisson d'aliments riches en protéines à des températures élevées conduit à leur dénaturation d'où une baisse de leur valeur nutritionnelle.

Les pâtes alimentaires sont riche en glucides, fibre, phosphates et en vitamine B, mais pauvre en lipide, sodium et en certains acides aminés essentiels tel que la lysine et les acides aminés soufrés (OUNANE, 2007; SAULNIER, 2012).

D'après les résultats trouvés, nous signalons une augmentation de la teneur en lipides des pâtes confectionnées par rapport à la matière première (farine de lentilles) passant de $2,06 \pm 0,02$ % à $2,96 \pm 0,02$ %, probablement due à l'ajout de jaune d'œuf qui est riche en matière grasse (64 %). D'après ULBAD *et al.*, (2021) et CAHUZAC, (2023), 100 g de jaune d'œuf contient environ 34,5 g de lipides, ainsi, l'ajout de jaune d'œuf lors de la fabrication des pâtes alimentaires contribue à l'amélioration de leur qualité organoleptique (couleur, gout et saveur) et de leur qualité nutritionnelle.

Les résultats de l'ANOVA révèlent des différences statistiquement significatives entre les moyennes des groupes, soutenues par un F calculé(5,68) extrêmement élevé et une p-

value(2,90) très faible. Ces résultats permettent de rejeter l'hypothèse nulle et d'affirmer que les variables mesurées (pH, Humidité, Taux de cendre, Protéines, Lipides, et Amidon) exercent des effets significatifs et distincts sur les caractéristiques observées. Ainsi, chaque facteur étudié influence de manière notable les propriétés mesurées, et les groupes ne sont pas équivalents entre eux, confirmant l'existence d'effets réels et non dus au hasard.

Les résultats suggèrent des différences entre la farine de lentilles et les pâtes sans gluten pour certains paramètres, notamment l'humidité, le taux de cendre, les protéines, les lipides et l'amidon. Ces différences sont probablement dues aux effets de la cuisson et à l'ajout d'ingrédients dans les pâtes.

La cuisson des pâtes sans gluten a entraîné une réduction de l'humidité et du taux de cendre, ainsi qu'une diminution de la teneur en protéines et en amidon. Par contre, les lipides ont augmenté, probablement en raison de l'ajout de matières grasses.

La farine de lentilles présente une teneur plus élevée en protéines et en amidon, tandis que les pâtes sans gluten ont une plus grande quantité de lipides et une teneur plus faible en cendres et en protéines. Cela reflète l'impact de la transformation de la farine en pâtes, qui modifie la composition nutritionnelle.

III.2.2.2 Appréciation de la qualité culinaire des pâtes alimentaires élaborées

La qualité culinaire rend compte du comportement de la pâte pendant et après la cuisson. La qualité culinaire des pâtes alimentaire sans gluten fabriquées à base de farine de lentilles (CDC Richlea) est appréciée après cuisson (**Tab.31, Fig. 28**). Elle regroupe, selon l'ensemble des caractéristiques suivantes:

- Temps minimum, optimum et maximal de cuisson;
- Gonflement ou absorption d'eau de cuisson;
- Texture de produit cuit (fermeté, viscoélasticité, masticabilité);
- Etat de surface des produits cuits (collant, délitescence);
- Arôme et goût.

Tableau 31: Qualité culinaire des pâtes sans gluten élaborées

Echantillons Paramètres	Pâte commercialisée à base de semoule de blé	Pâte sans gluten élaborée à base de farine de lentille
T. minimum de cuisson (mn) T	6	9
T. optimal (mn) $T+6$	12	17
Surcuisson (mn) $T+11$	16	22
Etat de surface	7	3
Perte à la cuisson (% MS)	8,96	11,56
Capacité de fixation d'eau (%MS)	408,11	448,09

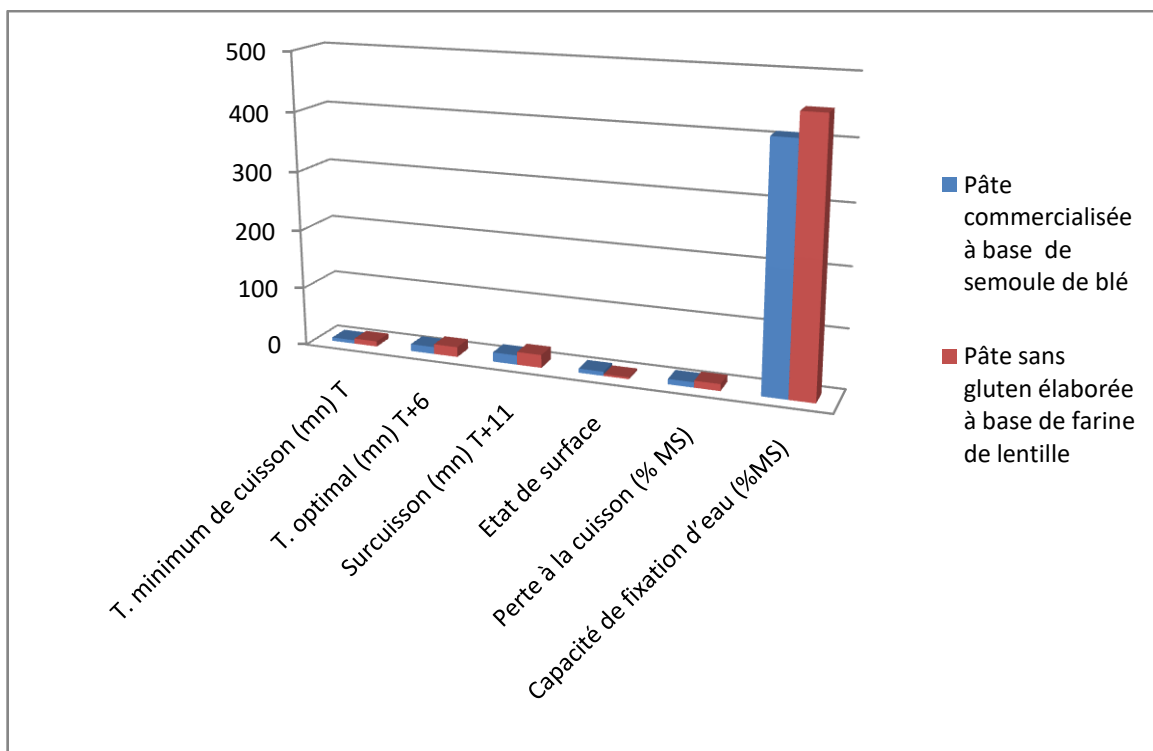


Figure 28: Qualité culinaire des pâtes sans gluten élaborées comparées aux pâtes commercialisées.

La qualité culinaire dépend selon **ALONGI et al., (2024)**, des caractéristiques de la matière première mises en œuvre, de la pureté des farines et des conditions de fabrication de pâtes alimentaires. Les propriétés rhéologiques des pâtes sont influencées principalement de la teneur en protéines et de la viscoélasticité du gluten, plus celles-ci sont élevées, plus les pâtes sont fermes pour un temps donné de cuisson (**REYROLLE, 2022**).

Des résultats obtenus, il ressort que la quantité de matières perdues à la cuisson pour les pâtes sans gluten élaborées à base de farines de lentilles (11,56 % de MS) est supérieure à celle d'une pâte classique commercialisée à base de semoule de blé dur (8,96 % de MS). Ces données sont proches de celles émises par **OUANANE, (2007)** ; **MICARD et al., (2017)** et **PINEL et al., (2023)**, estimant que les pertes à la cuisson et le pourcentage de protéines solubilisées augmentent avec le temps de cuisson. Ces pertes sont plus importantes durant les cinq premières minutes aussi bien que pour les pâtes classiques que pour les pâtes à base de farine de lentilles. De même que pour la capacité de fixation d'eau ou nous remarquons que la retenue d'eau pour les pâtes sans gluten (448,65 % de MS) est supérieure par rapport aux pâtes classiques (408,11 % de MS). Ceci est probablement dû à la différence des propriétés intrinsèques des protéines de la semoule de blé et de la farine de lentilles (**JEANTET et al., 2016**; **LIONETTI et al., 2020**). En effet, la capacité de fixation d'eau est un paramètre dépendant du milieu, l'augmentation de la capacité de fixation d'eau s'explique par le relâchement de la trame protéique qui régule la vitesse de gélatinisation et le gonflement des granules d'amidon (**BATTU et al., 2017**).

En effet, **CHOPLIN et al., (2013)** affirment que les conditions de fabrication des pâtes alimentaires soumettent les produits à des effets de cisaillement durant le malaxage et l'extrusion et à des traitements hygrothermiques durant l'étape de séchage jouant ainsi, un rôle non négligeable sur la qualité du réseau protéique formé. Ce dernier se rompt partiellement sous l'effet des actions thermomécaniques développés et se dégrade rapidement au cours de la cuisson (**RENOUX, 2018**).

Ainsi, et selon, **LECERF et LE-MAY, (2021)**, les granules d'amidon s'échappent dans un réseau protéique trop lâche et forment un empois à la surface rendant alors, les pâtes collantes et délitescentes entraînant des pertes de matières solubles élevées dans les eaux de cuisson. Néanmoins, l'utilisation d'un séchage à haute température renforce le réseau protéique par la formation de liaisons disulfures et hydrophobes aboutissant à une amélioration considérable de la qualité culinaire des produits finis (**JEANTET et al., 2016**; **PITTE, 2024**).

III.2.2.3 Résultats de l'analyse sensorielle

Afin de comparer visuellement les différents critères sensoriels des pâtes alimentaires sans gluten élaborées à base de farine de lentilles vertes (CDC Richlea), nous avons illustré l'histogramme graphique suivant (Fig. 29)

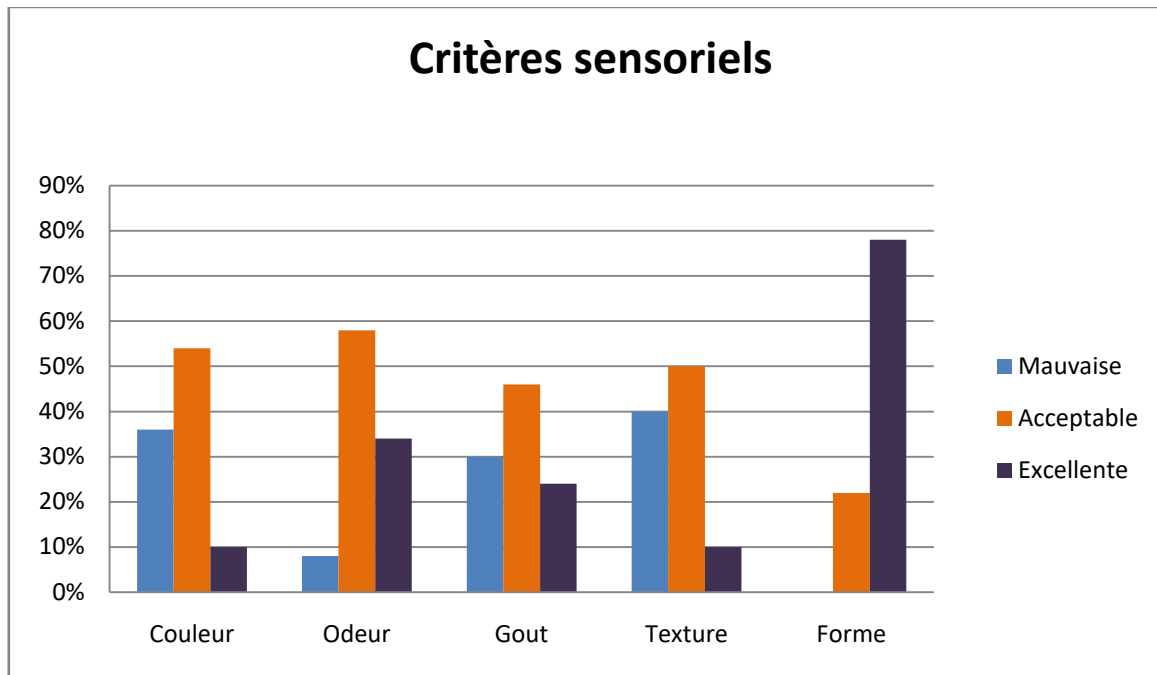


Figure 29: Présentation graphique du profil sensoriel du produit fini (Pâtes alimentaires).

Les différentes composantes organoleptiques (critères sensoriels) des pâtes alimentaires élaborées obtenues après le test de dégustation semblent en général satisfaisantes.

La **couleur** des produits alimentaires est un attribut essentiel car elle stimule l'appétit des individus (BOTTY *et al.*, 2019). Elle joue également un rôle crucial dans le contrôle de processus de cuisson et de torréfaction, car des pigments bruns se forment progressivement lors des réactions de brunissement et de caramélisation (MASRAR *et* BENHADDA, (2024). Ces pigments contribuent à l'apparence appétissante des aliments cuits et torréfiés (LALEG *et al.*, 2017).

La couleur est le premier paramètre à évaluer, 54 % des dégustateurs trouvent la couleur de produit fini (pâtes alimentaires) acceptable. La couleur marron des pâtes est due au mélange des deux composantes, verte de la farine de lentille et la couleur jaune due à l'ajout d'œuf dans la recette, ce qui a mené 36 % des dégustateurs à confirmer que la couleur des pâtes alimentaires confectionnées est mauvaise, néanmoins, 10 % des dégustateurs trouvent la couleur des pâtes alimentaires étudiées originale.

L'odeur ou l'arôme, est aussi un paramètre qui influence l'attrait du consommateur pour un produit donné (ELEUCH et KOUBAA, 2023). D'après les résultats de l'analyse sensorielle obtenue (Fig. 29), les dégustateurs (53 %) ont indiqué que l'arôme est plus ou moins prononcé. D'autre part, 47 % des dégustateurs ont indiqué que l'arôme est spécifique du à la variété de lentille.

Les pâtes alimentaires élaborées sont jugées acceptables pour leur **gout** par la majorité des consommateurs (70%), alors que 30 % des dégustateurs ont perçu un arrière gout désagréable. Quant à la **texture**, 50 % des dégustateurs trouvent que les pâtes alimentaires sans gluten confectionnées sont friables, et l'autre moitié les jugent comme un peu dures.

Durant cette analyse sensorielle, les dégustateurs ont noté chaque critère pour évaluer le produit fini sans gluten élaborées (Pâtes alimentaires). La moyenne de chacun de ces critères est calculée est représentée dans la (Fig. 30).

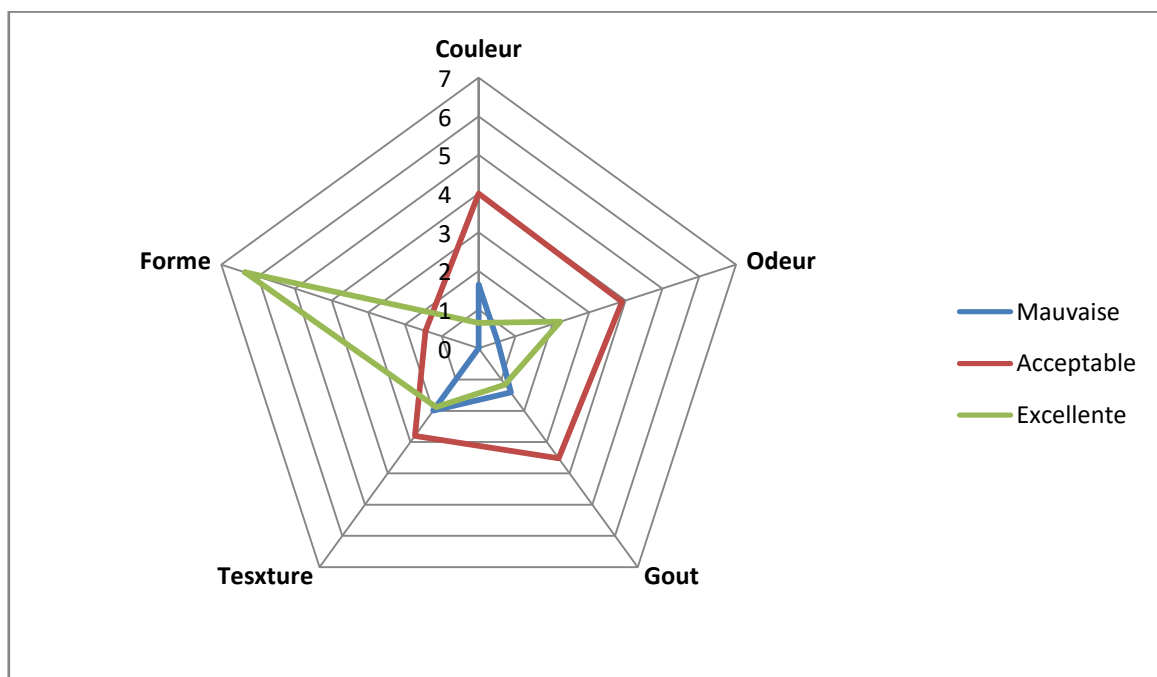


Figure 30: Résultats de l'évaluation sensorielle des pâtes cuites.

III.2.3 Elaboration d'un Couscous sans gluten

Le couscous est un produit traditionnel fabriqué à partir de semoule de blé dur. Cependant, il n'existe pas de définition spécifique du couscous dans la réglementation, celui-ci est simplement apparenté à la famille des produits issus du blé dur tels que les pâtes alimentaires.

L'apparition sur le marché de produits similaires, vendus sous le nom du couscous mais préparés à partir d'autres espèces de céréales et de légumineuses, risque d'introduire une certaine confusion préjudiciable à la bonne information du consommateur, le projet de norme AFNOR (1991) souligne l'intérêt d'utiliser le blé dur pour la fabrication du couscous mais ne définit pas de normes pour évaluer la qualité des produits préparés.

Le produit élaboré est un couscous sans gluten à base de farines de féverole (Giza 402) et de farine de pois chiche (Flip 90), confectionné dans le but d'améliorer et de diversifier la situation alimentaire des malades cœliaques Algériens en particulier.

III.2.3.1 Caractéristiques physicochimique de produit

Les résultats de la caractérisation de certains paramètres physico-chimiques des deux produits élaborés (Couscous A et Couscous B) sont regroupés dans le **tableau 32** et illustrés par la **figure 31**.

Tableau 32: Résultats des différents paramètres physico-chimique des deux produits élaborés (Couscous A et Couscous B).

Echantillons / Paramètres	Farines de Féverole + Pois chiche (FV+PC) (50 % / 50 %)	Farines de Féverole + Pois chiche (FV+PC) (70 % / 30 %)	Couscous A	Couscous B
pH	6,22 ± 0,01	6,34 ± 0,02	6,27 ± 0,02	6,01 ± 0,01
Humidité (%)	10,70 ± 0,01	10,45 ± 0,01	9,01 ± 0,02	8,20 ± 0,01
Protéines (%)	25,70 ± 0,02	26,90 ± 0,01	22,06 ± 0,01	24,12 ± 0,01
Lipides (%)	5,90 ± 0,02	5,01 ± 0,01	12,32 ± 0,01	12,90 ± 0,01
Amidon (%)	47,96 ± 0,02	48,60 ± 0,01	42,31 ± 0,02	43,50 ± 0,01
Taux de cendres	3,69 ± 0,02	3,55 ± 0,02	3,13 ± 0,02	3,21 ± 0,02

D'après les résultats obtenus, nous constatons que les produits élaborés (couscous A, B) présentent des valeurs de pH qui sont respectivement de $6,27 \pm 0,02$ et $6,01 \pm 0,01$. Ces valeurs sont acceptables et elles sont proches de la neutralité (**RAHMOUNI, (2023)**).

BEKHOUCHE et al., (2013) affirment que le dosage de l'humidité permet de diminuer les risques d'altération lors du conditionnement et du stockage car ce paramètre est un facteur essentiel dans la prolifération des micro-organismes. Des taux d'humidité supérieurs à 12,5 % exposent le couscous aux altérations des moisissures et rendent les étapes de conditionnement et de stockage difficiles.

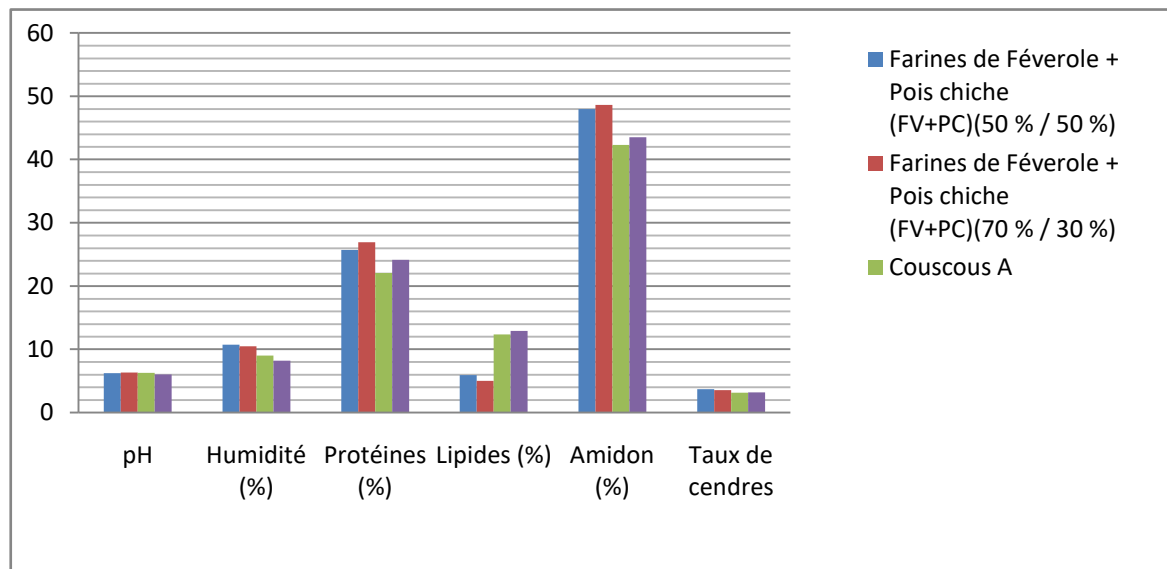


Figure 31: Résultats des différents paramètres physico-chimiques des deux produits élaborés (Couscous A et Couscous B).

Nous signalons aussi une légère différence entre la teneur en eau de la farine de mélange (Fèverole /Pois chiche $10,70 \pm 0,01$ % pour le mélange de 50 % /50 % et $10,45 \pm 0,01$ % pour le mélange 70% / et 30%), et celle des produits finis (Couscous A et Couscous B respectivement $9,01 \pm 0,02$ % et $8,20 \pm 0,01$ %). Ce qui est dû aux conditions de séchage (à l'air libre). Cette faible teneur en eau favorise une bonne conservation des deux types de couscous élaborés (KAUOANE, 2022).

Il a été convenu que le taux de protéines d'un produit fini élaboré dépend d'une part de la qualité de ces composants biochimiques présents dans la matière première ayant servis à le fabriquer (DEGNON et al., 2020) et d'autre part aux conditions de préparation de ce produit fini (BOSSOU et al., 2022).

A partir du (Tableau 32), nous constatons que la transformation de mélange de farines en couscous présente une légère diminution de taux des protéines totales passant de $25,70 \pm 0,02$ % et $26,90 \pm 0,01$ % respectivement pour les mélanges (50 % FV / 50 % PC) et (70 % FV / 50 % PC) à $22,06 \pm 0,01$ % et $24,12 \pm 0,01$ % pour les couscous A et B. Cette diminution est justifiée selon ASSANVO et al., (2019) et FASO, (2024) par la dénaturation des protéines sous l'effet de la chaleur. La cuisson d'aliments riches en protéines à des températures élevées conduit à leur dénaturation d'où une baisse de la valeur nutritionnelle du produit élaboré (ASSAD-BUSTILLOS et al., 2020 et LEFEVRE, 2022).

En effet, le couscous est un aliment riche en glucides, fibres, phosphates et en vitamine B, mais pauvre en lipide, sodium et en certains acides aminés essentiels tel que la lysine (DOUMANDJI *et al.*, 2012; GUIRROU *et al.*, 2022).

Concernant les taux de la matière grasse des couscous A et B sans gluten élaborés, ils sont successivement de $12,32 \pm 0,01$ et $\% 12,90 \pm 0,01$ %. Ces valeurs sont conformes aux normes algériennes requises et répondent aux résultats trouvés par GUIRROU *et al.*, (2022).

Selon DOUKANI, (2015); HAMA-BA *et al.*, (2016) et SIDIBE, (2017), les taux élevés en lipides des produits élaborés (Couscous A et Couscous B) sont dus à la richesse des farines de légumineuses en matières grasses en particulier le pois chiche ($5,64 \pm 0,02$ % de MS) et aussi à l'ajout du gras (l'huile de soja) lors du processus de fabrication du couscous (Zlig).

Le taux de cendres représente les résidus inorganiques restant après l'incinération de la matière organique dans les produits alimentaires. C'est le contenu total en minéraux (GUIRROU *et al.*, 2022).

La teneur et la composition en matière minérale des grains sont fixes quelques soient les conditions externes de culture (REMOND et WARLAND, 2017). Les résultats du taux de cendre présentés dans le **tableau 32** indiquent une valeur de $3,13 \pm 0,02$ % pour le couscous A et $3,21 \pm 0,02$ % pour le couscous B, ce qui est conforme aux normes requises (REBAI *et al.*, 2023; FASO, 2024).

Les résultats de l'ANOVA confirment qu'il existe des différences significatives entre les moyennes des groupes, ce qui est soutenu par un test F (2887688,82) élevé et une p-value (4,83) extrêmement faible. Ces résultats montrent que la variabilité observée entre les groupes est bien plus importante que celle au sein des groupes, ce qui indique que les variables analysées (pH, Humidité, Protéines, Lipides, Amidon, et Taux de cendres) ont des effets significatifs et distincts sur les mesures étudiées. Par conséquent, nous rejetons l'hypothèse nulle et acceptons l'hypothèse alternative, affirmant que les différences observées sont réelles et non dues au hasard. Ces variables influencent de manière significative les caractéristiques mesurées, et leurs effets ne peuvent être attribués au hasard.

Les farines de féverole + pois chiche sont des produits nutritifs, riches en protéines et en amidon, ce qui les rend adaptées pour la fabrication de produits à haute valeur nutritionnelle. Les couscous, en revanche, sont plus riches en lipides et ont une teneur plus faible en protéines et en amidon, ce qui les rend moins denses en nutriments mais plus adaptés à des applications alimentaires spécifiques, comme les produits prêts à cuire ou les produits à faible humidité.

III.2.3.2 Résultats de l'analyse sensorielle

La qualité organoleptique joue un rôle très important dans la valeur commerciale des deux types de couscous sans gluten élaborés A et B (Fig. 32, 33). A travers les notes attribuées aux différents dégustateurs, nous avons pu tracer les profils sensoriels des produits élaborés.

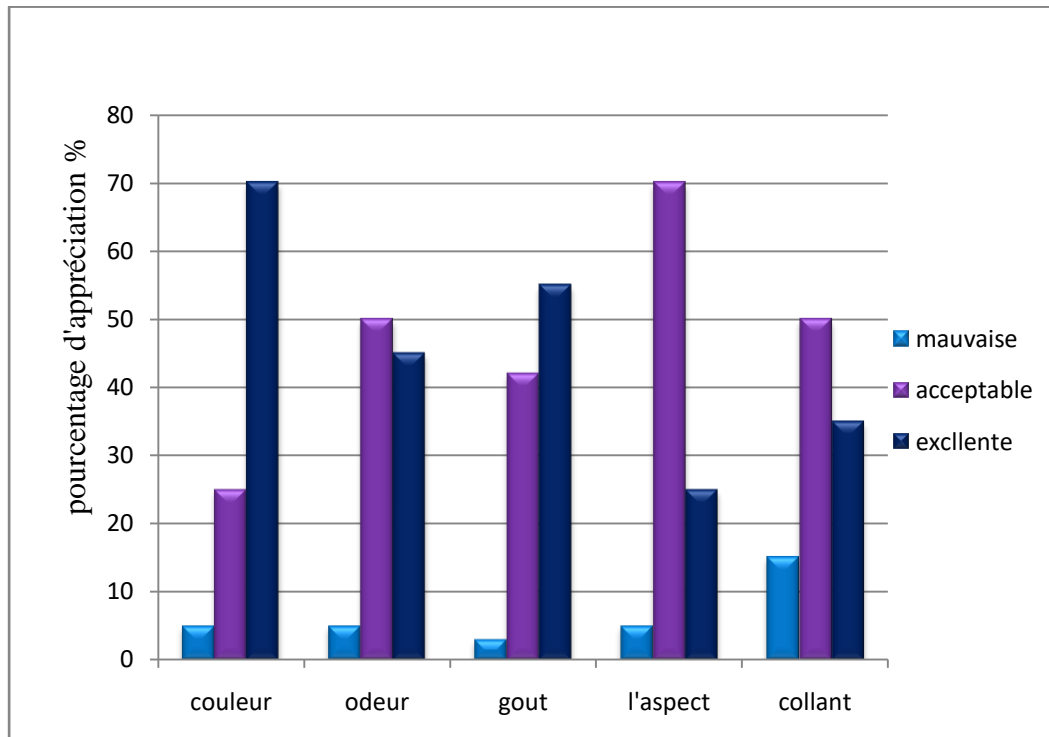


Figure 32: Présentation graphique du profil sensoriel du produit fini
(Couscous A)

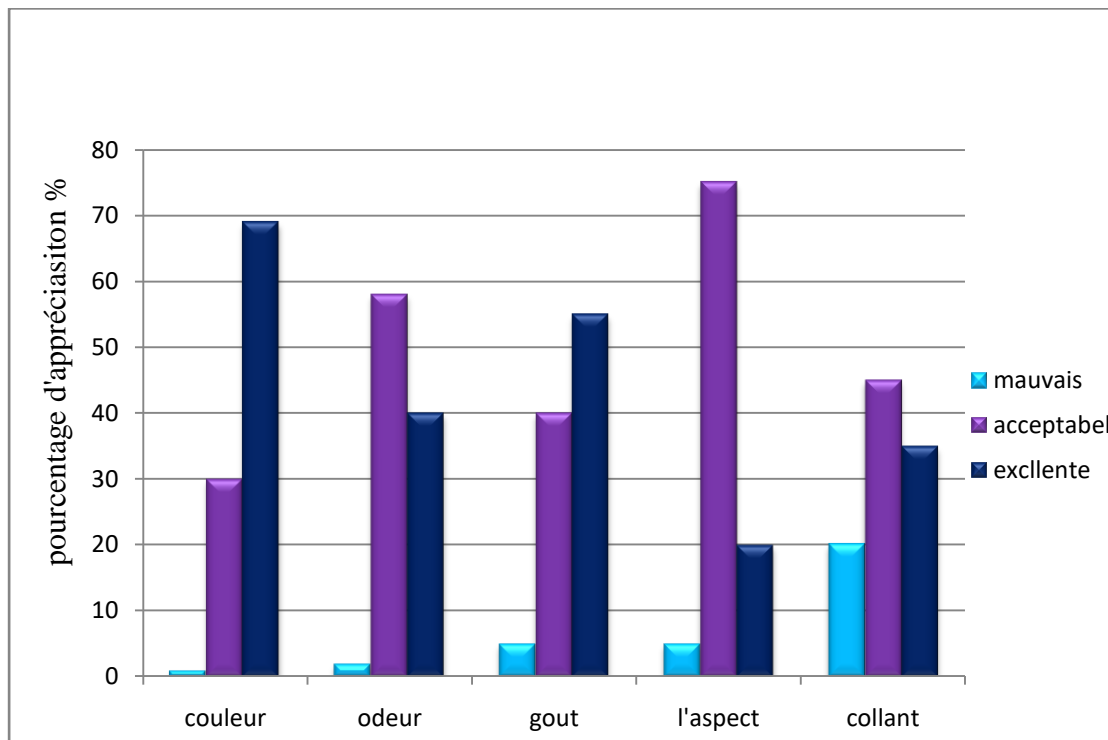


Figure 33: Présentation graphique du profil sensoriel du produit fini (Couscous B).

BRUNEL et al., (2013) et **ERTUS, (2023)** estiment que le premier paramètre à évaluer lors d'une analyse sensorielle est la couleur car l'observateur ou le consommateur lui accorde une grande importance afin d'apprécier la qualité et la fraîcheur d'un produit. L'indice de couleur détermine la quantité de pigments présents et par conséquent la pureté du produit à analyser. Dans le cas du couscous, le caractère recherché par le consommateur est la couleur jaune **DOUKANI (2015)** et **GUIRROU (2022)**. En effet, le développement de la couleur est influencé par les réactions de **Maillard**, c'est-à-dire que les réactions entre les sucres et les protéines du produit lors de la cuisson se traduisent par une couleur brune. Ce développement dépend également du temps, de la température de cuisson et de l'humidité dans le four (**SINGH et al., 1993; SALAH, 2016; DA SILVA et al., 2019**).

A partir des résultats obtenus pour les deux types de couscous élaborés A et B, l'ensemble des dégustateurs les ont jugés la couleur «Excellente» avec des taux de 65 % à 70 %.

L'odeur possède un impact considérable sur l'appréciation finale du produit fini, l'imperceptibilité de l'odeur est en partie due à la cuisson en raison de l'élévation de la

température qui provoque la volatilité des composés aromatiques (KAOUANE, 2022; AMMOUCHE et al., 2024).

Les résultats obtenus désignent que l'odeur est jugée acceptable pour les deux types de couscous A et B avec des taux de 50 % et 60 %.

Le goût, aussi est un paramètre essentiel pour l'évaluation de la qualité gustative du produit alimentaire élaboré, il dépend principalement des ingrédients entrants dans la préparation. Les ingrédients ayant la plus forte influence sont la farine, la matière sucrante et la matière grasse (SALLES, 2024).

A partir des résultats obtenus, nous remarquons que le critère goût est jugé « Excellent » par l'ensemble de dégustateurs avec un pourcentage de 70 %. Concernant les couscous (A et B).

Les deux couscous ont un aspect acceptable, ni lisse ni dur par l'avis de 70 à 75 % des dégustateurs, et présentent une texture un peu collante mais appréciés par la majorité des dégustateurs.

En effet, l'offre des produits industriels sans gluten est très restreint en Algérie et ces produits sont généralement importés, donc onéreux et peu diversifiés (KADDOUR et al., 2023); GUENEAU, 2021). Comme alternative et pour y remédier, l'utilisation de légumes secs (pois chiche, fève, féverole, lentille ...) est recommandée (KAPLAN, 2013; AURIER et SIRIEX, 2016). Leur importance alimentaire est due au fait qu'elles sont riches en protéines (teneur deux à trois fois plus élevée que la plupart des céréales), elles constituent une bonne source d'énergie et fournissent de nombreux éléments minéraux essentiels, comme le calcium et le fer (BATTU, 2017; KADDOUR et al., 2023). Ainsi, l'introduction des légumineuses dans le régime alimentaire des malades cœliaques est primordiale sur le plan nutritionnel et économique (REMESY et al., 2015; DAIEN et al., 2022). Les variétés de légumes secs sont exemptes de gluten, riches en protéines et présentent des profils en acides aminés équilibrés (CHOS, 2022; BHARDWAJ et al., 2025).

III.2.4 Elaboration d'un Rechta

L'analyse du blé utilisé révèle un poids spécifique de 84, indiquant une bonne qualité et un taux d'extraction élevé.

III.2.4.1 Caractéristiques physicochimique de produit

La semoule de blé dur (Simito) et la farine de pois chiche (Flip 90) présentent des caractéristiques physicochimiques conformes aux normes. La semoule affiche une granulométrie adaptée à la fabrication des pâtes, une humidité de 13,90 %, un taux de cendre de 0,89 % et une teneur en protéines de 11,36 %. Son gluten humide atteint 27,61 %, tandis que la farine de pois chiche, riche en protéines (22,18 %) et en lipides (5,4 %), ne contient pas de gluten. Les mélanges (50% p /50% s et 70% p/ 30% s) ont été analysés avant et après fabrication de la Rechta, permettant d'évaluer l'évolution des paramètres physicochimiques et d'optimiser la formulation.

Les caractéristiques physicochimiques des matières premières étudiées, semoule de blé de variété Simito et farine de pois chiche de variété Flip 90 sont présentées dans le tableau 33 suivant.

Tableau 33: Caractérisation physicochimique des matières premières

Matière première	Granulométrie	Humidité (%)	Taux de Cendre (%)	Gluten humide	Gluten index	Gluten sec	Protéines (%)
Semoule de blé	T ₄₅₀ = 0,02 T ₃₅₀ = 0,07 T ₂₅₀ = 0,55 T ₁₅₀ = 90,63 Extraction 8,52	13,90	0,89	27,61	24,15	8,92	11,36
Farine de pois chiche		10,01	2,82	0	0	0	22,18

Les résultats de cette étude montrent que la semoule de blé présente une granulométrie conforme aux recommandations d'ABECASSIS (1993) et LEFKIR (2018), avec une taille ne dépassant pas 350 µm. La teneur en humidité de la semoule de blé est de 13,90 %, et celle de la farine de pois chiche est de 10,01 %, respectant les normes du CODEX STAN 178-1991 pour une bonne conservation du produit. Le taux de cendre de la semoule est de 0,89 %, respectant la norme maximale de 1,3 %, tandis que la farine de pois chiche présente un taux

de 2,82 %, similaire à d'autres études (BRIDJA et RAHO, 2007). La teneur en gluten humide de la semoule de blé est de 27,61 %, inférieure à celle rapportée par GODON et WILLM (1991), mais son taux de gluten sec (8,92 %) est conforme aux valeurs de LECOQ (1965) et LEFKIR (2018). En ce qui concerne les protéines, la semoule de blé a une teneur de 11,36 %, conforme à la norme Codex Stan 178-1991, tandis que la farine de pois chiche (22,18 %) dépasse la recommandation de la FAO (1982) mais proche de celle rapportée par BENATALLAH *et al.*, (2009). Enfin, pour les lipides, la farine de pois chiche contient 5,4 %, et la semoule de blé 1,34 %, respectant les normes de la FAO (1996). Les lipides des légumineuses sont majoritairement polyinsaturés, avec une forte proportion d'acide linoléique, et jouent un rôle nutritionnel essentiel en fournissant des calories et des acides gras essentiels (NASRI *et al.*, 2023).

Le tableau suivant récapitule les résultats des analyses physicochimiques des mélanges (50 % semoule de blé dur et 50 % farine de pois chiche) et (30 % semoule de blé dur et 70 % farine de pois chiche) avant et après fabrication de la Rechta.

Tableau 34: Analyses physicochimiques des mélanges avant et après l'élaboration de la Rechta.

Paramètres(%)		Humidité	Taux de cendre	Gluten humide	Protéines	Lipides
Echantillons						
Semoule de blé dur		13,90	0,89	27,61	11 ,36	1,34
Farine de pois chiche		10,01	2,82	0	22,18	5,47
Avant fabrication	70 % _p +30 % _s	11 ,81	1,53	6 ,73	16,68	2,06
	50 % _p +50 % _s	11,37	1,53	6,73	14,68	2 ,06
Après fabrication	70 % _p +30 % _s	11 ,37	1,95	4,30	15,12	2,25
	50 % _p +50 % _s	9,16	2 ,82	0,63	14,38	0,87

S : semoules de blé dur
p : farine de pois chiche

Les mélanges de pâtes, composés respectivement de 30 % semoule de blé dur / 70 % farine de pois chiche et 50 % semoule de blé dur / 50 % farine de pois chiche, ont montré des teneurs

en humidité de 11,81 % et 11,37 % avant fabrication, réduites de 2,65 % et 2,51 % après séchage. Cette diminution est attribuée à l'évaporation d'eau durant la pré-cuisson et le séchage, ce qui est conforme aux résultats observés par **CRUZ *et al.* (2015)**; **GUIRROU *et al.* (2022)**. Les taux de cendre ont augmenté après fabrication, atteignant 2,82 % et 2,80 %, respectivement, en raison de l'ajout de sel et d'eau minérale, ce qui confirme les observations de **BOURDREZ et CHRKI (2022)**. La teneur en gluten humide a diminué respectivement de 20,88 % et 23,31 % pour les deux mélanges respectivement, en raison de l'absence de gluten dans la farine de pois chiche, comme le suggèrent les travaux de **FEILLET (2000)** et **PETTITOT *et al.* (2010)**. En termes de protéines, l'enrichissement en farine de pois chiche a augmenté leur teneur de 5,32 % et 4,24 %, bien qu'une légère diminution après cuisson a été observée, probablement due à la dénaturation thermique des protéines, comme l'indiquent **ASSANVO *et al.* (2019)** et **FASO (2024)**. Les lipides ont diminué dans les produits finis, atteignant 1,37 % et 0,87 %, respectivement, à cause de l'oxydation pendant le séchage, ce qui est en accord avec les résultats de **ANGELIQUE et CAUDE (2006)** et **DOUKANI (2015)**.

Concernant le temps de cuisson, les pâtes élaborées avec 30 % semoule de blé / 70 % farine de pois chiche ont nécessité un temps de cuisson de 13,08 min, plus long que celui du mélange 50 % semoule de blé / 50 % farine de pois chiche (5,30 min), en raison de la différence de la teneur en gluten et de l'épaisseur des brins de pâte, comme l'expliquent **OUNANE (2007)**, **MICARD *et al.* (2017)**, ainsi que **PINEL *et al.* (2023)**.

Afin de confirmer les tendances observées et évaluer de manière statistique l'impact des différents mélanges sur les propriétés physico-chimiques des pâtes, une analyse de variance (ANOVA) a été réalisée pour les paramètres d'humidité, de gluten humide et de protéines. Les résultats de cette analyse sont présentés dans le tableau suivant.

L'analyse statistique montre que, l'humidité et le gluten humide sont significativement affectés par le type de matière première et la proportion des mélanges, indiquant que les choix de farine (pois chiche vs blé) influencent de manière importante ces propriétés. En revanche, la teneur en protéines ne semble pas être significativement influencée par ces facteurs, ce qui suggère que la combinaison de farine de pois chiche et de semoule de blé dans les proportions testées ne modifie pas de façon marquée la teneur en protéines de la pâte.

Tableau 35: Résultats de l'ANOVA des paramètres physico-chimiques (humidité, gluten humide, et protéines) des mélanges et de la Rechta élaborée.

Paramètre (%)	Source de variation	Sum of Squares (SS)	Degrés de liberté (df)	Mean Square (MS)	F-statistique	p-value
Humidité	Entre les groupes	10.45	5	2.09	4.5	0.03
	Au sein des groupes	5.23	20	0.26	-	-
Gluten humide	Entre les groupes	456.32	5	91.26	20.5	<0.01
	Au sein des groupes	40.12	20	2.01	-	-
Protéines	Entre les groupes	42.53	5	8.51	3.2	0.09
	Au sein des groupes	16.83	20	0.84	-	-

Ces résultats soulignent l'importance de la formulation des mélanges pour obtenir des pâtes sans gluten qui respectent les propriétés physiques et chimiques requises, tout en offrant une alternative viable pour les personnes intolérantes au gluten. Ces observations seront utiles pour guider l'optimisation des recettes et des processus de fabrication de Rechta pour les consommateurs ayant des restrictions alimentaires.

III.2.4.2 Résultats de l'analyse sensorielle

Les analyses sensorielles ont révélé des différences notables entre les deux types de Rechta enrichie (Fig. 34). La Rechta enrichie à 50 % de farine de pois chiche (produit A) a obtenu des évaluations plus satisfaisantes en termes de couleur par rapport à la Rechta enrichie à 70 % (produit B). Cette différence est probablement due au taux d'enrichissement plus élevé dans le produit B, ce qui intensifie la couleur et augmente l'oxydation des lipides lors de la cuisson (**REBZANI *et al.*, 2021**). En ce qui concerne l'aspect, le produit B a été perçu comme plus dur (note moyenne de 7,25) que le produit A (note moyenne de 6,75), ce

qui peut s'expliquer par la différence d'épaisseur des brins de pâte lors de la fabrication de la Rechta.

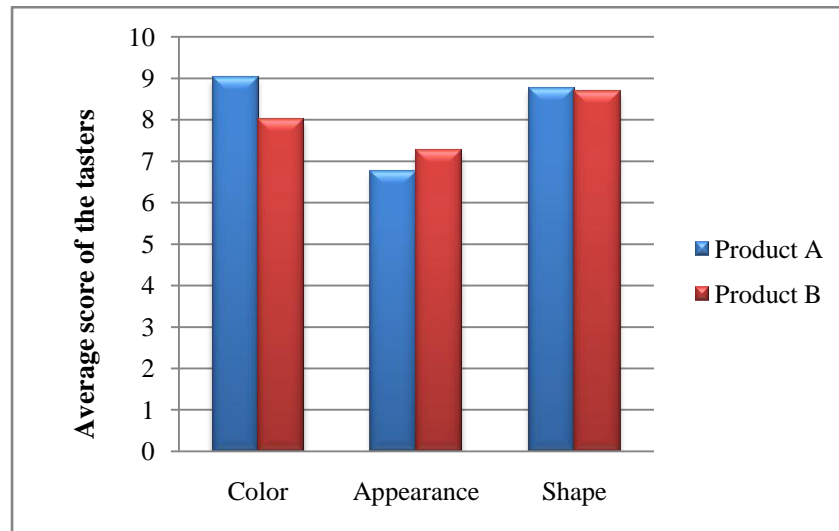


Figure 34: Résultats du profil sensoriel du Rechta sec enrichi (A: Rechta enrichi à 50% de farine de pois chiche, B : Rechta enrichi à 70% de farine de pois chiche).

La forme des produits A et B est pratiquement identique, avec des notes moyennes respectives de 8,75 et 8,67. Les deux produits présentent une forme « tréflée » (Fig. 35). En ce qui concerne l'odeur, le produit B' à une odeur plus intense que le produit A', avec une différence de 2,42 points. Par ailleurs, le produit A' est moins collant (1,75) et possède un aspect plus lisse (3,41) par rapport au produit B' (3,16 et 3,33 respectivement). Concernant la couleur et le goût, le produit B' présente une couleur légèrement plus intense (9,18) et un goût plus agréable (8,91) par rapport au produit A' (8,25 et 8). En revanche, la texture du produit A' est plus ferme (6,91) par rapport au produit B' (5,85).

L'introduction de légumineuses dans les régimes alimentaires, notamment sous forme d'enrichissements avec des produits céréaliers, présente des avantages nutritionnels et économiques significatifs. Les légumineuses, comme les pois chiches, sont exemptes de gluten, riches en protéines, et offrent des profils équilibrés d'acides aminés (CHOS, 2022; DAIEN *et al.*, 2022; BHARDWAJ *et al.*, 2025).

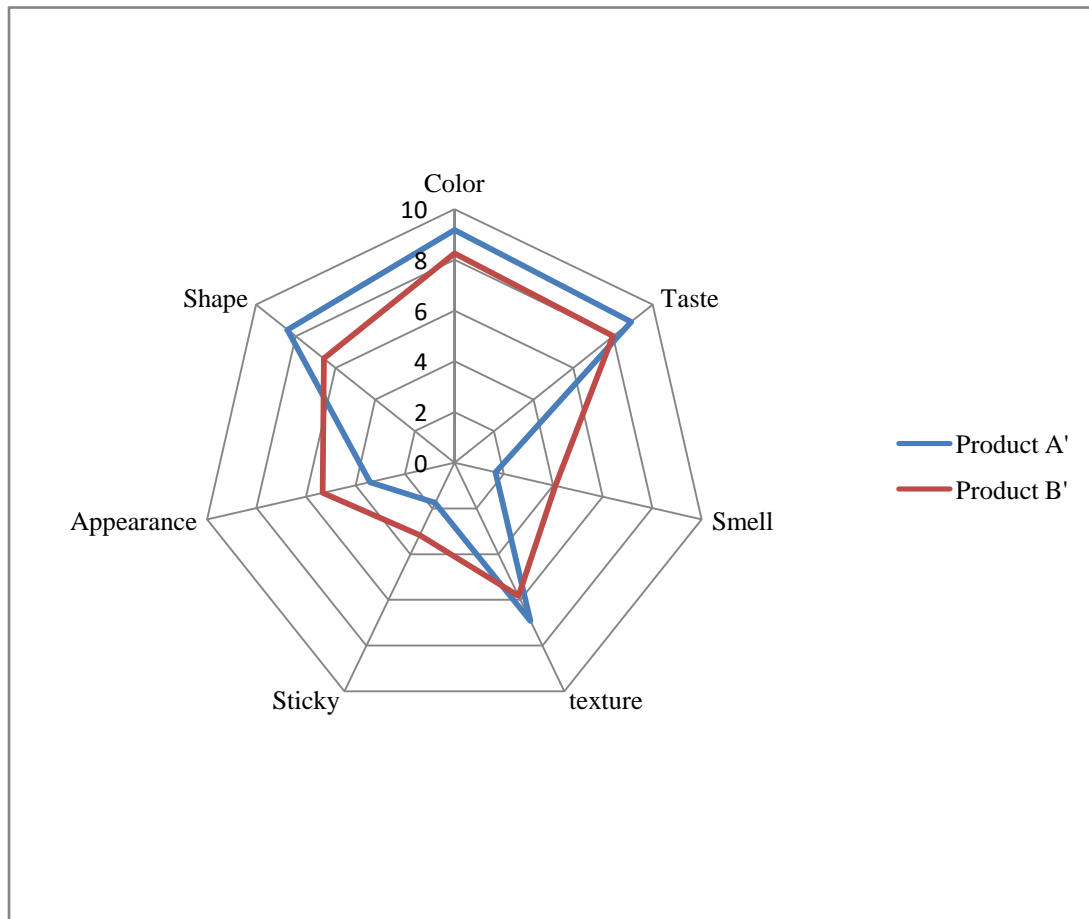


Figure 35: Résultats de l'évaluation sensorielle du Rechta cuit enrichi (**A'** : Rechta cuit enrichi à 50 % de farine de pois chiche, **B'** : Rechta cuit enrichi à 70 % de farine de pois chiche)

La figure 36 présente l'historique de l'acceptabilité générale de Rechta enrichie à 70 % (produit B') et 50 % (produit A') en farine de pois chiche, basé sur l'appréciation des dégustateurs (légèrement aimé, aimé, adoré). On observe que le produit A' a été davantage apprécié, avec 6 personnes l'ayant aimé contre 4 pour le produit B'. Cependant, le produit B' a été légèrement préféré par un plus grand nombre de dégustateurs, 7 personnes contre 3 pour le produit A'. En ce qui concerne ceux qui ont adoré, le produit A' l'a été par 3 personnes, tandis que le produit B' a recueilli seulement 1 adepte.

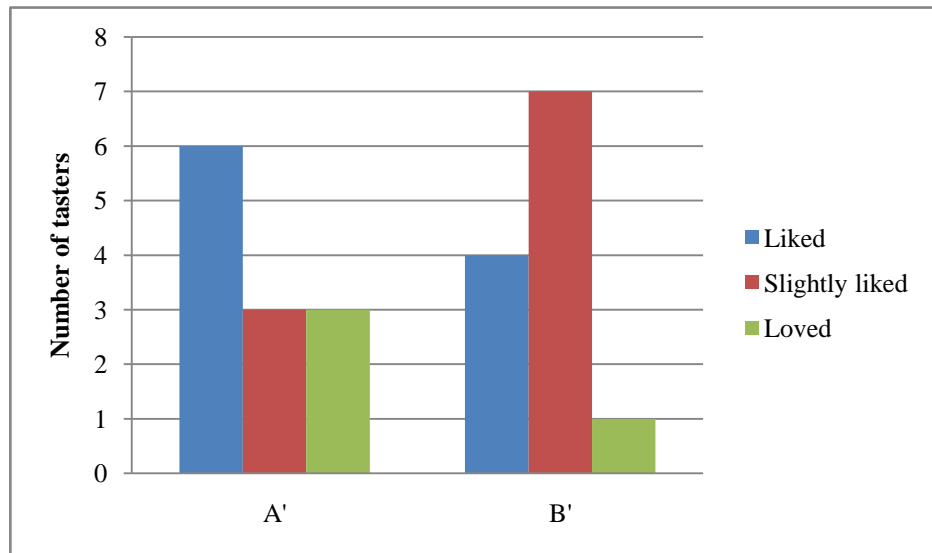


Figure 36: Résultats de l'évaluation sensorielle du Rechta enrichi (A' : Rechta cuit enrichi à 50 %, B' : Rechta cuit enrichi à 70 %)



Conclusion

Conclusion

Ce travail s'inscrit dans le cadre, d'une part, l'étude de la composition physico chimique et de la qualité nutritionnelle de quelques variétés de légumineuses (Pois chiche (Flip 90), Fève (Seville), Féverole (Giza 402) et Lentille (CDC Réchlea) cultivées en Algérie. Ces variétés sont importées de l'ICARDA et elles se sont faites adaptées au sol et au climat Algérien au fil des générations au niveau de la station de l'ITGC de Oued Semmar et mises à notre disposition par la CCLS de Bouira. D'autre part, pour leur valorisation pour la confection de produits alimentaires sans gluten (Biscuits, Pâtes alimentaires, Couscous et Rechta) et de ce fait améliorer la situation alimentaire des malades cœliaques Algériens.

Les analyses physico chimiques des différentes farines de légumineuses étudiées montrent que celles ci sont riches en amidon avec des taux de 51,90 % de MS, 46,05 % de MS, 45,18 % de MS et 40,10 % de MS pour successivement le pois chiche (Flip 90), la fève (Seville), la féverole (Giza 402) et la lentille (CDC Richléa) et présentent des teneurs élevées en protéines allant de 22,35 % de MS pour le pois chiche, 25,44 % de MS pour la lentille, 28,62 % de MS pour la féverole, et la fève donne le taux le plus haut avec une valeur de 30,25 % de MS. Cependant, leurs teneurs en lipides sont faibles avoisinant les 2 %, à l'exception de pois chiche (5,65 % de MS). Ainsi, les graines de légumineuses se caractérisent à la fois par une forte densité énergétique et une forte densité nutritionnelle.

Les analyses physico-chimiques de la matière première montrent aussi que les farines utilisées présentent des faibles taux d'humidité (10,10 %, 12,05 %, 12,18 % et 12,23 % pour la lentille, la fève, la féverole et le pois chiche) et en acidité grasse: (0,015 % pour la lentille, 0,012 % pour la féverole, 0,014 % pour la fève et 0,029 % pour le pois chiche. Ces taux répondent aux normes Algériennes exigées, ce qui leur confèrent une longue durée de conservation, favorisant un stockage sans qu'il y ait un risque de rancissement.

Des résultats trouvés, nous constatons que les légumineuses sont également riches en acides phytiques. Nous avons enregistré des teneurs de 1,02 mg/g MS pour le pois chiche, 2,11 mg/g MS, 1,74 mg/g MS et 2,30 mg/g MS pour la féverole. Néanmoins, les teneurs élevées en acides phytiques font des légumineuses une source réduite en phosphore assimilable puisque 18 à 20 % de ce dernier est sous forme phytique. Les teneurs en cendres des farines de légumineuses étudiées sont aussi importantes avec des taux allant de 2,75 % à 3,23 %, proches de la moyenne requise pour les légumineuses (3,4 %).

Les différentes variétés de légumineuses sont analysées de point de vue profil des acides aminés. Il en ressort que celles ci présentent un bon équilibre dans leur profil en acides

aminés essentiels, néanmoins, elles sont riches en lysine et déficientes en acides aminés soufrés en comparaison à la protéine de référence.

Les résultats de l'analyse physicochimique des produits finis sans gluten élaborés (Cookies, Couscous A et Couscous B, Pâtes alimentaires et Rechta) indiquent qu'ils présentent des teneurs en humidité (2,10 %, 9,01 %, 8,20 %, 8,90 %, 9,16 %) successivement et des teneurs en pH (proche de 6) conformes aux normes exigées, ce qui les rendent favorables à une bonne conservation. L'ajout de la matière grasse végétale (margarine) lors de la fabrication des produits finis conduit à une augmentation de la teneur en lipide ce qui contribue à l'amélioration de leurs qualités gustatives.

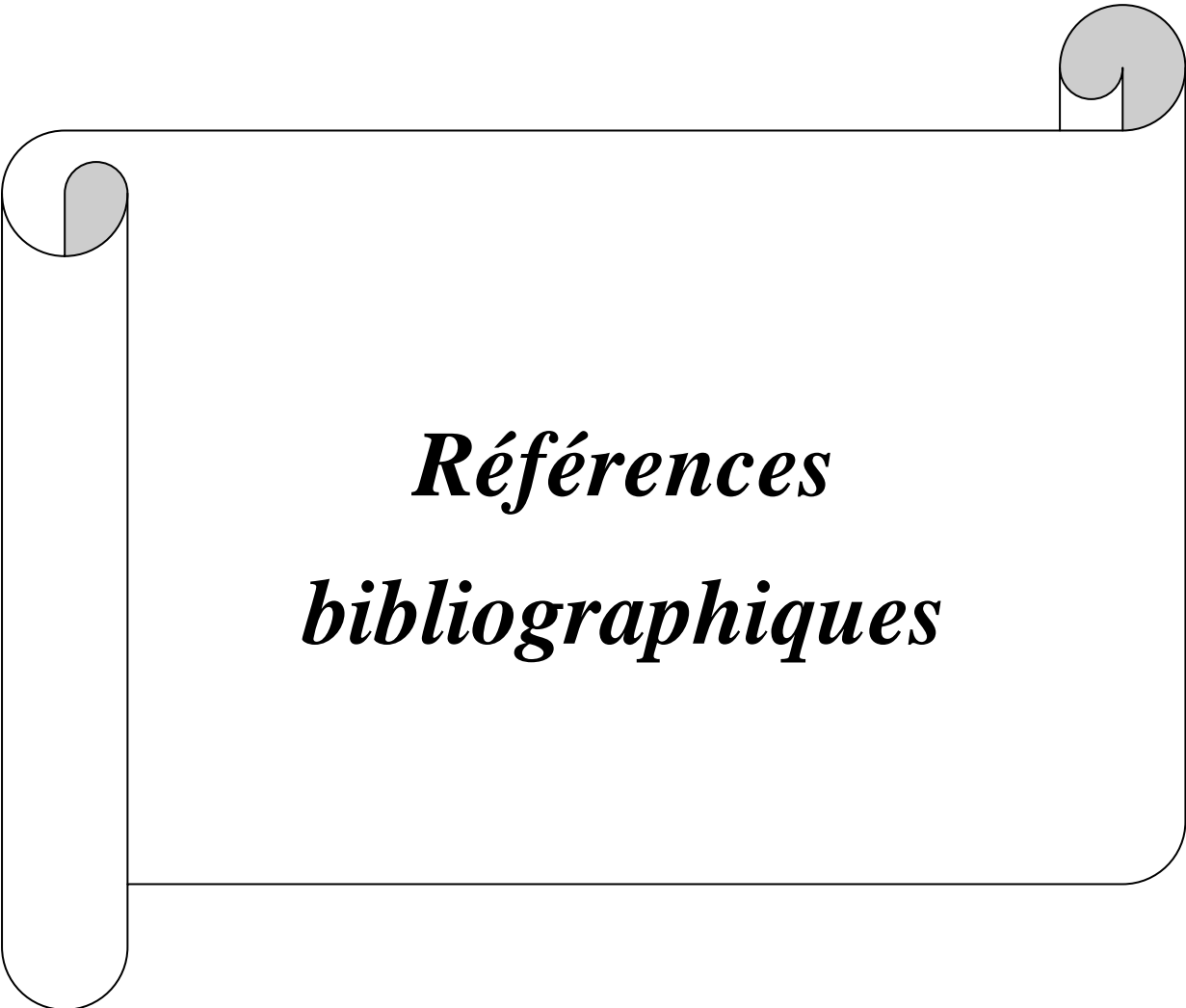
L'étude montre aussi une diminution de la teneur en protéines (22,06 %, 24,12 %, 25,44 % et 22,18 %) des produits élaborés (Cookies, Couscous A, Couscous B, Pâtes alimentaires et Rechta) par rapport aux taux en protéines des matières premières ainsi que leurs mélanges expliquée par le déroulement d'une série de réactions biochimiques qui se développent particulièrement lors de la préparation des produits. Il s'agit principalement de la réaction de Maillard et les réactions de dénaturation des protéines (gélatinisation).

Le profil sensoriel montre que les produits élaborés présentent en moyenne une bonne qualité organoleptique, caractérisée par une couleur excellente (75 %), une odeur agréable (80 %), une forme arrondie (80 %) pour les cookies, une texture croustillante (80 %) et un excellent goût (70 %).

Au terme de ce travail et après toutes ces conclusions et comme perspectives, cette étude mérite d'être complétée par :

- Analyse des facteurs anti nutritionnelles des légumineuses et leurs effets sur les produits finis.
- Etude microbiologique des produits élaborés.
- Etude de la faisabilité d'autres rapports de pois chiche, fève, féverole et lentille.
- Elaboration d'autres produits diététiques à base de farine de légumineuses tels que le pain, les soupes....
- Le contact industriel en vue de l'industrialisation des produits sans gluten à base de farine de légumineuses afin d'améliorer et diversifier l'alimentation des malades cœliaques Algériens.
- Etablir une étude économique approfondie sur le coût des produits élaborés.
- Etudier l'effet du stockage sur le comportement rhéologique des produits finis.

- Chercher d'autres moyens de préservation de la matière première de la dégradation au cours de stockage à savoir l'utilisation de produits biologiques et les moyens physiques tel que le Lazer...



***Références
bibliographiques***

Références bibliographiques

- **ABECASSIS J., ALARY R. et FEILLITT P., (1984).** Influence des températures de séchage sur l'aspect et la qualité culinaire des pâtes alimentaires. *Industries des Céréales*, 31, 13-18.
- **Abecassis, J., Petit, J. C., Eber, M., Klein, T., Rodier, D., et Janser, J. C. (1985).** Complexes immuns circulants dans le cancer du sein. *Bulletin du cancer*, 72(1), 42-47.
- **Abecassis, J. (1993).** Nouvelles possibilités d'apprécier la valeur meunière et la valeur semoulière des blés. *Industries des céréales*, (81), 25-37.
- **Achour, E. H., Hemaïd, W., et Sallaye, N. (2023).** Evaluation de la réponse biochimique et oxydative des graines de *Lens culinaris* à l'herbicide *Prowl Aqua*. Mémoire de Master. Université de Tiaret. Algérie.
- **Admou, B., Zkhir, W., Guennouni, M., et Hazime, R. (2021).** Maladie cœliaque: une pathologie au carrefour de la médecine, de la diététique et de la pharmaceutique. *La Presse Médicale Formation*, 2(6), 580-594.
- **Afilal, M. E., Elasri, O., et Merzak, Z. (2014).** Caractérisations des déchets organiques et évaluation du potentiel Biogaz (Organic waste characterization and evaluation of its potential biogas). *J. Mater. Environ. Sci*, 5(4), 2014.
- **AFNOR (1981).** Recueil de normes françaises «Antiseptiques et Désinfectants», Association française de normalisation, Tour Europe, Cedex 7, 92080 Paris la Défense.
- **AFNOR (1991).** Recueil de normes- contrôle de la qualité des produits alimentaires céréales et protéagineux et produits céréaliers AFNOR/DGCCRF. 3ème édition. Paris. 360 p.
- **Ait Mouh, O. (1989).** Influence des conditions de séchage à très haute température sur les propriétés des pâtes alimentaires. Thèse de Doctorat. Sciences du vivant (q. bio). Université Montpellier 2 (Sciences et Techniques).
- **Alain-Martial, S. D., Kari, B. A. P., Abeline, M. T., Blaise, Bougnon N., et Mounjouenpou, P. (2018).** Impact of the storage conditions and duration on some nutritional parameters of three flours of mass consumption in Cameroon. *African Journal of Food Science*, 12(3), 38-45.
- **Alongi, M., Lopriore, M., Calligaris, S., Manzocco, L., et Nicoli, M. C. (2024).** The shelf life dilemma: facing mismatching sensory indicators in food undergoing oxidation. In *11° Shelf Life International Meeting* (pp. 26-26).

- **Alvarez-Jubete, L., Arendt, E. K., et Gallagher, E. (2010).** Nutritive value of pseudocereals and their increasing use as functional gluten-free ingredients. *Trends in Food Science & Technology*, 21(2), 106-113.
- **Ammouche, Z. (2002).** Etude biochimique et de la valeur nutritive de quelques légumineuses (Fève, Fèverole et Pois chiche): Possibilité d'incorporation dans les produits céréaliers. Thèse Magister. INA, El Harrach, Algérie.
- **Ammouche, Z., Mahdi, K., Siham, A. S., Boutera, N., Cherief, A., et Mimeche, F. (2024).** Valorization of certain cultivated legumes using recent biotechnological approaches for the elaboration of new gluten-free products in Algeria. *Brazilian Applied Science Review*, 8(1), e68405-e68405.
- **Amri, M., Niane, A. A., Agrawal, S. K., Kemal, S. A., Hamwiah, A., et Amri, A. (2019).** Principales activités des programmes d'amélioration génétique de la lentille et du pois chiche Kabuli à ICARDA. *Innov. Agron*, 74(15), 10-15454.
- **Angelique, V., et Claude, G., (2006).** Approche physico-chimique et sensorielle de l'oxydation des lipides en émulsions, MARS-JUIN.
- **Arentz-Hansen, H., Mcadam, S. N., Molberg, Ø., Fleckenstein, B., Lundin, K. E., Jørgensen, T. J., et Sollid, L. M. (2002).** Celiac lesion T cells recognize epitopes that cluster in regions of gliadins rich in proline residues. *Gastroenterology*, 123(3), 803-809.
- **Arepally, D., Reddy, R. S., Goswami, T. K., et Datta, A. K. (2020).** Biscuit baking: A review. *Lwt*, 131, 109726.
- **Assad-Bustillos, M., Tournier, C., Chiron, H., Guessasma, S., Septier, C., Della Valle, G., et Feron, G. (2020).** Impact de l'incorporation en protéines de légumineuses (pois et fève) dans des produits céréaliers (brioche et génoise) à destination de personnes âgées sur la transformation orale et la digestibilité in vitro des protéines. *Cahiers de Nutrition et de Diététique*, 55(6), 317-324.
- **Assanvo, J. B., Agbo, G. N. Z., Coulin, P., Heuberger, C., et Farah, Z. (2019).** Etude comparée de 3 attiéké traditionnels et d'un attiéké commercial (Garba): Enquêtes sur les méthodes de production et caractéristiques physicochimiques du ferment de manioc et des différents produits finis. *International Journal of Innovation and Applied Studies*, 26(4), 1108-1133.
- **Aubry, P. (2012).** Intoxications par les plantes toxiques dans les zones tropicales et inter tropicales. *Tropic Med*, 1-11.

- **Aurier, P., et Sirieix, L. (2016).** Chapitre 8. Distribuer les produits agroalimentaires et se développer à l'international. *Marketing/Communication*, 3, 361-435.
- **Autret M., (1978).** Analyse nutritionnelle de l'enquête nationale sur la consommation et les budgets des ménages en Algérie (enquête AARDES. 1967-69): évaluation de la II situation alimentaire, FAO, Rapport pour le compte du gouvernement Algérien, DG: DP/ALG/75/009.273 pages.
- **Aykroyd, W. R., Doughty, J., et Walker, A. F. (1982).** Legumes in human nutrition (Vol. 20). Food et Agriculture Org..
- **Aziri, H. (2007).** Recherche de marqueurs biologiques et moléculaires (RAPD) pour l'étude de la diversité génétique d'*Uromyces viciae-fabae*, agent de la rouille de la fève/féverole (Doctoral dissertation, INA).
- **Bagherpour, A., Imanimoghaddam, M., Bagherpour, M. R., et Einolghozati, M. (2010).** Dental age assessment among Iranian children aged 6–13 years using the Demirjian method. *Forensic science international*, 197(1-3), 121-e1.
- **Bahnassey, Y., et Khan, K. (1986).** Fortification of spaghetti with edible legumes. II. Rheological, processing, and quality evaluation studies. *Cereal Chem*, 63(3), 216-219.
- **Bai, J. C., Fried, M., Corazza, G. R., Schuppan, D., Farthing, M., Catassi, C., et Gonvers, J. J. (2012).** Maladie coeliaque. *World Gastroenterology Organisation Global Guidelines*.
- **Baroni, L., Pelosi, E., Giampieri, F., et Battino, M. (2023).** The Veg Plate for sports: a plant-based food guide for athletes. *Nutrients*, 15(7), 1746.
- **Battu, C. (2017).** L'accompagnement nutritionnel d'un patient souffrant d'une maladie cœliaque. *Actualités Pharmaceutiques*, 56(567), 55-58.
- **Baumgartner, R. N., Koehler, K. M., Gallagher, D., Romero, L., Heymsfield, S. B., Ross, R. R., ... et Lindeman, R. D. (1998).** Epidemiology of sarcopenia among the elderly in New Mexico. *American journal of epidemiology*, 147(8), 755-763.
- **Bekhouche, F., Merabti, R., et Bailly, J. D. (2013).** "Lemzeiet": Traditional couscous manufacture from fermented wheat (Algeria): process and technological and nutritional quality. *African Journal of Food Science and Technology*, 4(8), 167-175.
- **Belamri, D., Bougouizi, A., Sehab, H., et Hamzaoui, A. (2023).** Maladie cœliaque (MC) chez l'enfant: Mieux comprendre pour mieux prendre en charge-Celiac disease (CD) in children: Better understanding for better management. *journal algérien de médecine*, 28(7), 46-51.

- **Bellemou, D. (2020).** Diversité et structuration génétique du pois chiche (*Cicer arietinum L.*) local (Algérie) (Doctoral dissertation).
- **Bellemou, D., Millàn, T., Gil, J., Abdelguerfi, A., et Laouar, M. (2020).** Genetic diversity and population structure of Algerian chickpea (*Cicer arietinum*) genotypes: use of agromorphological traits and molecular markers linked or not linked to the gene or QTL of interest. *Crop and Pasture Science*, 71(2), 155-170.
- **Benatallah Benchikh El Feggoun, L. (2009).** *Couscous et pain sans gluten pour malades coeliagues*. Thèse de Doctoral, Université Frères Mentouri-Constantine 1.
- **Benkebil, F., et Nydegger, A. (2007).** Coeliac disease in children--an update. *Revue Medicale Suisse*, 3(100), 515-519.
- **Bensalah, Y. (2000).** Steps in applying extreme value theory to finance: a review.
- **Berrazaga, I., Bourlieu-Lacanal, C., Laleg, K., Salles, J., Guillet, C., Patrac, V., et Micard, V. (2018).** Effet de la consommation des pâtes alimentaires mixtes blé-légumineuses sur le métabolisme protéique du rat âgé. In 2. *Rencontres Francophones sur les Légumineuses (RFL2)* (p. np).
- **Besancenot, J. F., et Devilliers, H. (2012).** Sensibilité au gluten, maladie cœliaque et manifestations neurologiques. *La Lettre du neurologue*, 16(9), 306-310.
- **Bhardwaj, A., Sharma, N., Kaur, G., Sharma, N., et Liu, J. (2025).** Plant-based proteins: overview and impact on sustainable nutrition access. *Plant-Based Proteins*, 1-43.
- **Biesiekierski, J. R. (2017).** What is gluten?. *Journal of gastroenterology and hepatology*, 32, 78-81.
- **Bipea, 1976.** Bureau Interprofessionnel d'Etude Analytiques. Recueil de méthodes d'analyses des communautés Européennes.
- **Biscarrat, P. (2023).** Exploration approfondie des interactions entre des prébiotiques et une sélection de bactéries intestinales pertinentes pour la santé (Doctoral dissertation, Université Paris-Saclay).
- **Bolduc, M. P., Raymond, Y., Fustier, P., Champagne, C. P., et Vuilleumard, J. C. (2006).** Sensitivity of bifidobacteria to oxygen and redox potential in non-fermented pasteurized milk. *International Dairy Journal*, 16(9), 1038-1048.
- **Bonaz, B. (2023).** Maladie cœliaque: quoi de neuf? *Médecine des Maladies Métaboliques*, 17(7), 549-557.

- **Bossou, T. K., Dabadé, D. S., Adetonah, S., Bello, O. D., Atchouke, G. D. L., Edikou, K. U. S., et Dossou, J. (2022).** Caractérisation de la production du pain à base de farine de blé au Bénin. *Bulletin de la Recherche Agronomique du Bénin (BRAB) Juin*, 32(01).
- **Bouheddadj, S., et Belarbi, I. (2022).** Étude comparative des caractères phénologiques, morphologiques de quelques variétés de pois chiche (*Cicer arietinum L.*) (Doctoral dissertation).
- **Bouhouche, D., Boulassel, M., Boutebakh, Y., et Laib, E. (2018).** Evaluation de la qualité physicochimique du blé tendre destinée aux meuneries (Doctoral dissertation, Université de Jijel).
- **Boukezoula-Djamaa, F., et Zidoune, M. N. (2016).** Maladie cœliaque dans la commune de Tébessa.
- **Bouchair, R., et Bourad, D. E. (2016).** Effet du trempage dans différentes solutions sur la composition biochimique de quelques légumineuses locales (Doctoral dissertation, Université de Jijel).
- **Boulehlib, A., Bouletour, D., Latli, H., et Djabal, S. E. (2020).** Composition nutritionnelle de la fève sèche (*Vicia faba L.*): Effet du traitement thermique (Doctoral dissertation, Université de jijel).
- **Boumana, H. S., (2022).** Etude comparative de la composition de deux légumineuses (Doctoral dissertation, university center of abdalhafid boussouf-MILA).
- **Boumediene, R. S. (2024).** L'arbre des couscous: Unité et diversité d'un patrimoine. Chihab.
- **Boumedine, T. L., et Attar, T. (2022).** La maladie cœliaque: le régime alimentaire adapté (Doctoral dissertation, Université Mouloud Mammeri).
- **Bourdrez, V., et Chriki, S. (2022).** Qualités nutritionnelle, organoleptique et disposition à payer pour les alternatives à la viande: cas des analogues végétaux, de la " viande in vitro " et des insectes. *INRAE Productions Animales*, 35(3), 217-236.
- **Boutrid, N., Amirane, M., Bioud, B., et Rahmoune, H. (2021).** Role of the Gut Microbiota in Celiac Disease: An Update [Rôle du microbiote Intestinal dans la maladie coeliaque: Mise à jour].
- **Bouteloup, C. (2016).** Les pathologies digestives liées au blé ou au gluten: certitudes et doutes. *Cahiers de Nutrition et de Diététique*, 51(5), 248-258.
- **Bouznad, Z., Louanchi, M., Allala, L., et Mérabti, N. (2001).** Les maladies de la fève en Algérie cas de maladie à tache chocolat causée par *Bortrytis* spp. *Diseases of bean in Algeria:*

- case of chocolat spot disease caused by *Botrytis* spp.) Quatrièmes journées scientifiques et techniques phytosanitaires, INPV.
- **Botty, M., Delforge, H., et Pleyers, G. (2019).** Influence de la cohérence de l'association entre la couleur de fond d'une image et filetype de produit présenté sur l'attitude du consommateur. *Louvain School of Management, Université catholique de Louvain, Prom.: Pleyers, Gordy.*
 - **Boye, J., Zare, F., et Pletch, A. (2010).** Pulse proteins: Processing, characterization, functional properties and applications in food and feed. *Food research international*, 43(2), 414-431.
 - **Bradly PR. (1998).** "British herbal compendium", Vol.1 Bournemouth: British Herbal medicine Association.
 - **Brand-Miller, J., et Slama, G. (2014).** L'index glycémique. Marabout.
 - **Bracher, A. (2019).** Les légumineuses comme alternative aux protéines importées. *Recherche Agronomique Suisse*, 10, 180-189.
 - **Bridja M., Raho G B., (2007).** Contribution à l'étude de l'influence d'intégration de la farine de pois chiche en panification. *Revue des régions arides*, 241-244.
 - **Bricas, N., Tchamda, C., et Mouton, F. (2016).** L'Afrique à la conquête de son marché alimentaire intérieur. Enseignements de dix ans d'enquêtes auprès des ménages d'Afrique de l'Ouest, au Cameroun et du Tchad (pp. 130-p). Agence française de développement.
 - **Brunel, O., Gallen, C., et Roux, D. (2013).** Identification des mécanismes d'appropriation d'un produit alimentaire en fonction de son degré d'élaboration 1. *Revue management et avenir*, (6), 121-142.
 - **Brunet, P., Sarrobert, B., et Paris-Pireyre, N. (1988).** Adaptation d'une méthode d'analyse des acides aminés, par chromatographie liquide haute performance, dans les sèves xylémiques. *Journal of Chromatography A*, 455, 173-182.
 - **Buche, F. (2011).** Influence de la formulation de pâtes de farine de blé sur leur consommation d'oxygène et leur production de dioxyde de carbone au cours du pétrissage et de la fermentation: Conséquences biochimiques et rhéologiques (Doctoral dissertation, Agro Paris Tech).
 - **Burel, C., et Médale, F. (2014).** Quid de l'utilisation des protéines d'origine végétale en aquaculture?. *OCL*, 21(4), D406.
 - **Burkhardt, J.G., A. Chapa-Rodriguez, and S.L. Bahna (2018).** Gluten sensitivities and the allergist: Threshing the grain from the husks. *Allergy*, 73(7): p. 1359-1368.

- **Cahuzac, M. (2023).** Le conseil alimentaire en pathologie du vieillissement rétinien. *Cahiers de Nutrition et de Diététique*, 58(4), 251-263.
- **Caio, G., Riegler, G., Patturelli, M., Facchiano, A., et Sapone, A. (2016).** Pathophysiology of non-celiac gluten sensitivity: where are we now?. *Minerva gastroenterologica e dietologica*, 63(1), 16-21.
- **Camara, B., Sanogo, S., Cherif, M., et Kone, D. (2018).** Effet du stress salin sur la germination des graines de trois légumineuses (*Phaseolus vulgaris*, *Glycine max* et *Vigna unguiculata*). *Journal of Applied Biosciences*, 124, 12424-12432.
- **Cantele, C., Tedesco, M., Ghirardello, D., Zeppa, G., et Bertolino, M. (2022).** Coffee silverskin as a functional ingredient in vegan biscuits: Physicochemical and sensory properties and in vitro bioaccessibility of bioactive compounds. *Foods*, 11(5), 717.
- **Carton, N., Viguier, L., Bedoussac, L., Journet, E. P., Naudin, C., Piva, G., et Justes, E. (2019).** Produire des légumineuses à graines au moyen de l'association avec une céréale: cas de la lentille et du lupin blanc d'hiver. *Innovations Agronomiques*, 74, 129-141.
- **Cayot, P. (2021).** Substituts à la viande: formulations et analyse comparée. 2ème partie: les apports en micronutriments. *Viandes et Produits Carnés*, 3736, 1-16.
- **Cegarra, M. (2006).** Le régime sans gluten: difficultés du suivi. *Archives de pédiatrie (Paris)*, 13(6), 576-578.
- **Cellier, C. (2002).** Tube digestif et pancréas-éditorial- Le syndrome de l'intestin irritable est-il en fait une maladie cœliaque latente?. *Gastroenterologie Clinique et Biologique*, 26(4), 341-342.
- **Cellier, C. (2023).** Diagnostic et traitement de la maladie cœliaque (MC): recommandations de l'American College of Gastroenterology.
- **Cessot, F., Létard, J. C., Sautereau, D., et Groupe de Nutrition du CHU de Limoges. (2014).** Alimentation sans résidus. *Hegel*, 4(Supp), S31-S33.
- **Chabni, S., et Belabbas, A. (2022).** Activité insecticide des huiles essentielles de la sauge officinale (*Salvia officinalis L.*) et la menthe poivrée (*Mentha piperita L.*) à l'égard des adultes de la bruche chinoise *Callasobruchus chinensis L.*(*Coleoptera: Chrysomelidae*) (Doctoral dissertation, Université Mouloud Mammeri).
- **Chahota, R. K., Kishore, N., Dhiman, K. C., Sharma, T. R., et Sharma, S. K. (2007).** Predicting transgressive segregants in early generation using single seed descent method-derived micro-macrosperma genepool of lentil (*Lens culinaris Medikus*) Predicting transgressive segregants in lentil. *Euphytica*, 156, 305-310.

- Chaunier, L., Chiron, H., Della Valle, G., Réguerre, A. L., et Dessev, T. (2005). Mesure des propriétés élongationnelles de pâtes à pain et évaluation de la texture des mies par analyse d'images. *Rhéologie*, 8, 13-19.
- Chemache, L., Kehal, F., Namoune, H., Chaalal, M., et Gagaoua, M. (2018). Couscous: Ethnic making and consumption patterns in the Northeast of Algeria. *Journal of Ethnic Foods*, 5(3), 211-219.
- Chene A, (2001). La farine. *Journal de l'ADRIANOR*, 26, 3- 8.
- Chevallier, S., Della Valle, G., Colonna, P., Broyart, B., et Trystram, G. (2002). Structural and chemical modifications of short dough during baking. *Journal of cereal science*, 35(1), 1-10.
- Chevalier, C. (2014). Etude des rôles de la culture de *Vicia faba* à l'échelle de l'exploitation. Le cas de la plaine du Saïss, Maroc (Doctoral dissertation, Agro Paris Tech).
- Chiavaroli, L., Lee, D., et Ahmed, A. (2022). Quel est l'effet d'un régime alimentaire à faible indice glycémique sur le contrôle de la glycémie et sur les facteurs de risque cardiovasculaire chez les patients atteints de diabète sucré?. *Minerva*, 21(2), 43-48.
- Cholez, C. (2016). Les contrats de production dans les filières légumineuses à graines: un moyen d'encourager l'acquisition et le transfert de connaissances techniques?. In *Atelier Prospectif Recherches Légumineuses* (pp. 1-p).
- Choplin, L., Marchal, P., Galindo, J., et Girard, V. (2013). La rhéologie systémique ou une rhéologie au service d'un génie des procédés et des produits. *La mesure en rhéologie: Des avancées récentes aux perspectives*, 249-281.
- Chorrier-Collet, B., et Astier, M. (2024). L'aventure des légumineuses du territoire à l'assiette. *Pour*, 248(1), 135-142.
- Chos, D. (2022). Biologie et suivi nutritionnel du sportif de haut niveau, «20 ans après...». *Revue Francophone des Laboratoires*, 2022(547), 36-43.
- Chouraouf, J. P., Darmaung, D., Dupontd, C., Freluth, M. L., Girardeth, J. P., Gouletd, O., et Simeonik, U. (2013). Allaitement maternel: les bénéfices pour la santé de l'enfant et de sa mère. *Archives de pédiatrie*, 20, S29-S48.
- Ciclitira, P. J., et Moodie, S. J. (2003). Coeliac disease. *Best Practice & Research Clinical Gastroenterology*, 17(2), 181-195.
- Clot, F., Babron, M. C., et Clerget-Darpoux, F. (2001). La génétique de la maladie cœliaque. *Médecine thérapeutique/pédiatrie*, 4(4), 263-7.

- **Codex Alimentarius (178-1991)**. Norme codex pour la semoule et la farine de blé dur, CODEX STAN (Rév. 1-1995), Céréales, légumes secs, légumineuses et matières protéiques végétales, 1991, 3 p 5.
- **Colas, A. (1998)**. Définition de la qualité des farines pour les différentes utilisations. *Godon, B., C., Willin (Ed.), Les industries de premières transformations des céréales, Collection Hachette*, 560-571.
- **Colas, F., Auger, I., Baldet, P., Bettez, M., et Savary, A. (2012)**. Gestion opérationnelle de l'évolution de la qualité des lots de semences forestières à l'aide de la mesure de l'activité de l'eau. Gouv. du Québec, Ministère des Forêts, Direction de la Recherche
- **Colombet, Z., Lamani, V., Allès, B., Terrieux, P., Ducrot, A., Drogué, S., et Méjean, C. (2022)**. Les déterminants de la transition nutritionnelle dans les Antilles françaises. *Cahiers de Nutrition et de Diététique*, 57(1), 37-58.
- **Cosnes, J., et Nion-Larmurier, I. (2013)**. Les complications de la maladie cœliaque. *Pathologie Biologie*, 61(2), e21-e26.
- **Coulibaly, K., Gomgnimbou, A. P. K., Traoré, M., Nacro, H. B., et Sedogo, M. P. (2017)**. Effets des associations maïs-légumineuses sur le rendement du maïs (*Zea mays* L.) et la fertilité d'un sol ferrugineux tropical à l'Ouest du Burkina Faso. *Afrique Science*, 13(6), 226-235.
- **Coulibaly, M., Bodjrenou, G., Akohoue, F., Agoyi, E. E., Merinosy Francisco, F. M., Agossou, C. O. et Achigan-Dako, E. G. (2022)**. Profiling Cultivars Development in Kersting's Groundnut [*Macrotyloma geocarpum* (Harms) Maréchal and Baudet] for Improved Yield, Higher Nutrient Content, and Adaptation to Current and Future Climates. *Frontiers in Sustainable Food Systems*, 5, 759575.
- **Courtois, F. F., Vasseur, J., Duquenoy, A., Leturcq, et Tharrault, P. (1997)**. Modelling of super-heated steam drying of alfalfa. In *COST-915 Copernicus CIPA-CT94--0120 workshop on Food Quality Modelling* (p. np). Office for Official Publications of the European Commission, Luxembourg.
- **Crépon, K., Marget, P., Peyronnet, C., Carrouée, B., Arese, P., et Duc, G. (2010)**. Nutritional value of faba bean (*Vicia faba* L.) seeds for feed and food. *Field crops research*, 115(3), 329-339.
- **Cristina Tomàs-Almenar., Francisco Javier Toledo-Solís., Ana M. Larrán., Eduardo de Mercado., Francisco Javier Alarcón., Daniel Rico., Ana Belén Martín-Diana et Ignacio Fernández. (2020)**. Effects and safe inclusion of Narbon Vetch (*Vicia narbonensis*) in

- rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) diets: Towards a more sustainable aquaculture. *Animals*. 10: 2175.
- **Cronk, R., Guo, A., Fleming, L., et Bartram, J. (2021)**. Factors associated with water quality, sanitation, and hygiene in rural schools in 14 low-and middle-income countries. *Science of the Total Environment*, 761, 144226.
 - **Crucean, D. (2019)**. Intérêt du chlorure de choline pour la réduction du sel dans le pain. Relations structure-propriétés et acceptabilité sociétale (Doctoral dissertation, Nantes, Ecole nationale vétérinaire).
 - **Cruz, Joseph E, Cocchio C, Lai P et Hermes-DeSantis E (2015)**. Gluten content of medications. *American Journal of Health-System Pharmacy* 72: 54-60.
 - **Cruz, J. F., Hounhouigan, J. D., et Fleurat-Lessard, F. (2016)**. La conservation des grains après récolte. Éditions Quae.
 - **Cruz, J. F., Hounhouigan Djidjoho, J., Havard, M., et Ferré, T. (2020)**. La transformation des grains (p. 198). éditions Quae.
 - **Cuq, J. L. (2018)**. Les protéines végétales alternatives aux protéines animales. Comment accroître leur niveau de qualité ?.
 - **Dabo, H., Goita, O., Timbely, D., Gundo, S., Coulibaly, M., Niangaly, O., et Traore, B. (2017)**. Caractérisation de la valeur boulangère et de la qualité technologique des grains des variétés de blé tendre (*Triticum aestivum L.*) adaptées aux conditions agro climatiques de la zone office du Niger (région de Ségou), Mali. *Afrique Science*, 13(2), 213-222.
 - **Dagher, M. A., Christy, R. D., et McLean-Meyinsse, P. E. (1991)**. Limited resource farmers and the marketing system. *American Journal of Agricultural Economics*, 73(5), 1485-1489.
 - **Daien, C., Czernichow, S., Letarouilly, J. G., Nguyen, Y., Sanchez, P., Sigaux, J., et Sellam, J. (2022)**. Recommandations de la Société française de rhumatologie sur l'alimentation des patients ayant un rhumatisme inflammatoire chronique. *Revue du Rhumatisme*, 89(2), 116-127.
 - **Dajoz, R. (2000)**. Précis d'écologie, 7 ème edition. *Dunod, Paris*, 615.
 - **Darimont, L. (2022)**. Conception de biscuits pour enfants à base de farine de pois chiches. biomass and peat fires. *Climatic Change*, 135, 699-711.
 - **Dalmet, C. (2009)**. La notion de denrées alimentaires (Doctoral dissertation, Université d'Avignon).

- **Daoui, K. (2007).** Recherche de stratégies d'amélioration de l'efficacité d'utilisation du phosphore chez la fève (*Vicia faba L.*) dans les conditions d'agriculture pluviale au Maroc. *Mémoire de thèse*, 156-201.
- **Da Silva, S. C., Fernandes, I. P., Barros, L., Fernandes, Â., Alves, M. J., Calhella, R. C., et Barreiro, M. F. (2019).** Spray-dried *Spirulina platensis* as an effective ingredient to improve yogurt formulations: Testing different encapsulating solutions. *Journal of Functional Foods*, 60, 103427.
- **Degnon, R. G., Konfo, C. T., Aboudou, K., et Bagbonon, Y. M. (2020).** Influence de la variété sur les caractéristiques microbiologiques, physico-chimiques et sensorielles du afitin, un condiment produit à base de graines de soja au Bénin. *International Journal of Innovation and Applied Studies*, 29(4), 1153-1160.
- **Denery-Papini, S., Popineau, Y., et Guegen, J. (2001).** Implication des protéines de céréales dans la maladie cœliaque. *Cahiers de Nutrition et de Diététique (France)*, 36(1).
- **Denis, A. (2011).** Les biscuits et gâteaux: toute une diversité. *Cahiers de Nutrition et de Diététique*, 46(2), 86-94.
- **De Noni, I., et Pagani, M. A. (2010).** Cooking properties and heat damage of dried pasta as influenced by raw material characteristics and processing conditions. *Critical reviews in food science and nutrition*, 50(5), 465-472.
- **Derdar, A., Bensalem, A., et Ouled Kaddour F. (2020).** Essai d'analyse technico économique de la filière légumes secs: Cas de la lentille dans la région de Mahdia-Tiaret (Doctoral dissertation, université ibn khaldoun-tiaret).
- **Dessaux, P. A. (2006).** Comment définir les produits alimentaires? L'élaboration des références pour l'application de la loi du 1^{er} août 1905 entre expertise et consensus professionnel. *Histoire économie & société*, (1), 083-108.
- **Dessaux, P. A. (2010).** Entre espoirs et déceptions: l'industrie des pâtes alimentaires. *Les entreprises de biens de consommation sous l'Occupation*, 129-144.
- **Désiré, K., Marius, B. H., Léonce, N. G., Ysidor, K., et Daouda, S. (2021).** Assessment of Nutritive Quality of Maize (*Zea mays L.*) Produced and Stocked from Rural Conditions in Côte d'Ivoire. *Asian Journal of Research in Crop Science*, 6(3), 22-32.
- **Dexter, J. E., Matsuo, R. R., et Kruger, J. E. (1990).** The spaghetti-making quality of commercial durum wheat samples with variable α -amylase activity. *Cereal Chem*, 67(405), 91-116.

- **Dib, A., et Zidoune, M. N. (2013).** Aptitudes technologiques et culinaires de pâtes alimentaires enrichies au germe de blé (Doctoral dissertation, Université Frères Mentouri-Constantine 1).
- **Di Cairano, M., Condelli, N., Cela, N., Sportiello, L., Caruso, M. C., et Galgano, F. (2022).** Formulation of gluten-free biscuits with reduced glycaemic index: Focus on in vitro glucose release, physical and sensory properties. *Lwt*, *154*, 112654.
- **Di Falco, S., Bezabih, M., et Yesuf, M. (2010).** Seeds for livelihood: crop biodiversity and food production in Ethiopia. *Ecological Economics*, *69*(8), 1695-1702.
- **Diler, G., Guilloux, M., Lethuaut, L., Chevallier, S., Prost, C., et Le-Bail, A. (2019).** Intérêt d'une approche procédé pour la reformulation de produits réduits en sel-sucre-matières grasses en Boulangerie Viennoiserie Pâtisserie. *Innovations Agronomiques*, *78*, 13-25.
- **Dones, C. (2021).** Influence du traitement culinaire (sous vide) sur la qualité des produits alimentaires. In Conferința tehnico-științifică a studenților, masteranzilor și doctoranzilor (Vol. 1, pp. 467-471).
- **Dos Santos, S., et Lioté, F. (2016).** Manifestations ostéo-articulaires liées à la maladie cœliaque et aux intolérances au gluten. *Revue du Rhumatisme Monographies*, *83*(4), 218-221.
- **Doukani, K. (2015).** Etude comparative entre le couscous industriel et le couscous à base de glands. *Nature and Technology*, (13), 2.
- **Doumandji, A., Boutekrabt, L., Saidi, N. A., Doumandji, S., Hamerouch, D., et Haouari, S. (2012).** Etude de l'impact de l'incorporation de la spiruline sur les propriétés nutritionnelles, technologiques et organoleptiques du couscous artisanal. *Revue «Nature & Technologie»*, *n, 6*, 41.
- **Duru, M., Justes, E., Falconnier, G., Journet, E. P., Triboulet, P., et Magrini, M. B. (2017).** Analyse du concept de santé globale pour accompagner les transitions agricoles et alimentaires: application au cas des légumineuses. *Agronomie, Environnement & Sociétés*, *7*(1), 83-95.
- **Duranti, M. (2006).** Grain legume proteins and nutraceutical properties. *Fitoterapia*, *77*(2), 67-82.
- **Dworatzek, P. D., Arcudi, K., Gougeon, R., Husein, N., Sievenpiper, J. L., et Williams, S. L. (2013).** Thérapie nutritionnelle. *Canadian Journal of Diabetes*, *37*, S409-S421.
- **Edwards, N. M., Mulvaney, S. J., Scanlon, M. G., & Dexter, J. E. (2003).** Role of gluten and its components in determining durum semolina dough viscoelastic properties. *Cereal chemistry*, *80*(6), 755-763.

- **El Badmoussi, S. (2022).** Maladie cœliaque: diagnostic et traitements.
- **Elenga, M., Massamba, J., Kobawila, S., Makosso, V., et Silou, T. (2009).** Evaluation et amélioration de la qualité nutritionnelle des pâtes et des bouillies de maïs fermenté au Congo. *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, 3(6).
- **Eleuch, A., et Koubaa, Y. (2023).** L'interaction odeur-goût et ses effets marketing sur la perception et la consommation des produits diététiques. *Canadian Journal of Administrative Sciences/Revue Canadienne des Sciences de l'Administration*, 40(3), 356-368.
- **Ellis R, Morris E.R, Philpot C., 1977.** Quantitative determination of phytate in the presence of high inorganic phosphate. *Anal. Biochem.* 77 pp 537-539.
- **Ertus, P. (2023).** Affirmer la naturalité et la proximité du produit alimentaire pour renforcer l'effet de la mention terroir. *Décision Marketing*, (1), 79-102.
- **Ewers, (1972).** Dosage de l'amidon, méthode polarimétrique. *J.O.CEE*, 15, L. 123, 7-9.
- **Fardet, A. (2013).** Chapitre 23 Sucres lents, préhydrolyse et préfermentation Anthony FARDET La qualité nutritionnelle des aliments peut être améliorée par de nombreux procédés technologiques. Connaissant les propriétés fonctionnelles de certains ingrédients. *Structure des aliments et effets nutritionnels*, 353.
- **Fall, M., et Jacquemot, P. (2023).** L'autonomisation des femmes, une réponse à l'insécurité alimentaire en Afrique?. *Afrique contemporaine*, 275(1), 9-38.
- **Farrell, R. J., et Kelly, C. P. (2002).** Celiac sprue. *New England Journal of Medicine*, 346(3), 180-188.
- **Fasano, A., et Catassi, C. (2012).** Celiac disease. *New England Journal of Medicine*, 367(25), 2419-2426.
- **Faso, B. (2024).** Contrôle de la qualité microbiologique et physico-chimique d'un couscous à base de mil mis au point par l'Institut de Technologie Alimentaire au Sénégal. *Afrique SCIENCE*, 24(2), 81-91.
- **Fathi, R. (2022).** Un biscuit voyageur. In *Chroniques de l'Europe* (pp. 162-163). CNRS Editions.
- **Fayet, L., Guex, E., et Bouteloup, C. (2011).** Le régime sans gluten: les points pratiques. *Nutrition clinique et métabolisme*, 25(3), 196-198.
- **Feillet, P., Autran, J. C., et Icard-Verniere, C. (2000).** Bases biochimiques du brunissement des pâtes alimentaires. *Options méditerranéennes e Durum Wheat Improvement in the Mediterranean Region: New Challenges. Numéro A*, 40, 431e438.

- **Feillet, P. (2022).** Point de vue: les critiques à l'égard de la viande bovine sont-elles fondées?. *Viandes et produits carnés*.
- **Fellows, P. (2000).** Principles and practice. *Food processing technology, 2nd ed., ed. Ellis Horwood, Chichester, UK, 369-380.*
- **Fonty, G., Mosoni, P., Forano, E., & Bernalier-Donadille, A. (2019).** Consommation et digestion des végétaux: rôles des microbiotes et fonctions essentielles à la biodiversité. 1-176.
- **FAO, (1982).** Les graines de légumineuses dans l'alimentation humaine. FAO. Alimentation et nutrition 20. Rome.152 p.
- **FAO et WHO (1990).** Protein Quality Evaluation. Report of a Joint FAO/WHO Expert Consultation. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome, Italy.
- **FAO, (1996).** Céréales, légumes secs légumineuses, produits dérivés et protéines végétales FAO. Vol 7. 2^{eme} édition Rome.164 p.
- **FAO et WHO (2016).** Soils and pulsesymbiosis for life. 2016, Année internationale des légumineuses. Organisation des Nations unies pour l'alimentation et l'agriculture. 104 p.
- **Feillet, P. (2000).** Le grain de blé: composition et utilisation. Quae.
- **Ford, R., Rubeena, R. R., Materne, M. M., et Taylor, P. W. J. (2007).** Genome mapping and molecular breeding in lentil: Lentil In: Genome mapping and molecular breeding. Volume III, Pulse, Sugar and Starch Crops, Ed. C. Kole.
- **Fredot, E. (2005).** *Connaissance des aliments*. Tec et Doc Lavoisier.
- **Frigerio, F. (2019).** Le régime sans gluten en dehors de la maladie cœliaque avérée: motivations et idées des patients, rôle du médecin généraliste (Doctoral dissertation).
- **Fustier, P., Castaigne, F., Turgeon, S. L., et Biliaderis, C. G. (2009).** Impact of endogenous constituents from different flour milling streams on dough rheology and semi-sweet biscuit making potential by partial substitution of a commercial soft wheat flour. *LWT- Food Science and Technology*, 42(1), 363-371.
- **Gaesser, G. A., et Angadi, S. S. (2015).** Navigating the gluten-free boom. *Jaapa*, 28(8), 1-7.
- **Gallais, A., et Bannerot, H. (1992).** Amélioration des espèces végétales cultivées. Objectifs et critères de sélection. Editions Quae.
- **Gallagher, E. (2008).** Formulation and nutritional aspects of gluten-free cereal products and infant foods. In *Gluten-free cereal products and beverages* (pp. 321-346). Academic Press.

- **Gallardo, K., Le Signor, C., Duc, G., Thompson, R., et Burstin, J. (2017).** Quels leviers génétiques mobilisables afin d'améliorer l'équilibre en acides aminés des graines de légumineuses?. *Innovations Agronomiques*, 60, 43-57.
- **Garnier, C., Beaumal, V., Ribourg-Birault, L., Davy, J., Jonchère, C., Kermarrec, A., et Gelebart, P. (2024).** Fractions protéiques issues de légumineuses: jusqu'où faut-il les purifier?. In *Rencontres Francophones Légumineuses 4*.
- **Gaudreau, C., Guillaumie, L., Simon, E., Vézina-Im, L. A., et Boiral, O. (2024).** Comment promouvoir la consommation de protéines végétales: Une revue de la littérature de presse. *Canadian Food Studies/La Revue canadienne des études sur l'alimentation*, 11(1), 66-90.
- **Gaur, P. M., Tripathi, S., Gowda, C. L., Ranga Rao, G. V., Sharma, H. C., Pande, S., et Sharma, M. (2010).** Chickpea seed production manual. International Crops Research Institute for the SemiArid Tropics, Patancheru 502 324, Andhra Pradesh, India.
- **Gauthier, J. (2004).** Relation entre la production des semoules de blé durum et de khorasan riches en fibres et la qualité des pâtes alimentaires. National Library of Canada= Bibliothèque nationale du Canada, Ottawa.
- **Gheiss, A., Matteredne, V., Monteix, N., Tillier, M., et Noûs, C. (2021).** Contribution à l'histoire de la boulangerie romaine: étude de «pains/galettes» découverts en Gaule. *Gallia. Archéologie des Gaules*, 78(78), 261-296.
- **Gbogouri, G. A., Bamba, M. S., Digbeu, D. Y., et Brou, K. (2019).** Elaboration d'une Farine infantile composée à base d'ingrédients locaux de Côte d'Ivoire: quelles stratégies d'enrichissement en acides gras polyinsaturés oméga 3?. *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, 13(1), 63-75.
- **Gerber, M. (2015).** L'alimentation méditerranéenne. Facteur de protection vis-à-vis des cancers?. *Phytothérapie*, 13, 82-90.
- **Gidenne, T., Lebas, F., Savietto, D., Dorchies, P., Duperray, J., Davoust, C., et Fortun-Lamothe, L. (2015).** Nutrition et alimentation. *Le lapin. De la biologie à l'élevage, Quae éditions*, 152-196.
- **Giove, R., et Abis, S. (2007).** Place de la Méditerranée dans la production mondiale de fruits et légumes. *Les notes d'analyse du CIHEAM*, 23, 1-21.
- **Gobat, J. M., Aragno, M., et Matthey, W. (2010).** Le sol vivant: bases de pédologie, biologie des sols (Vol. 14). EPFL Press

- Godat, S., Velin, D., Aubert, V., Nydegger, A., Schoepfer, A. M., et Maillard, M. H. (2013). Maladie cœliaque: état des lieux. *Rev Med Suisse*, 9, 1584-9.
- Godon, B. et Willm, C. (1991). Les industries de 1er transformation des céréales. Paris : Lavoisier Technique et documentation.
- Goncalves, A., et Feillet-Coudray, C. (2024). Activité physique, sport et alimentation durable (s). *Cahiers de Nutrition et de Diététique*, 59(4),213-223..
- Goyoaga, C., Burbano, C., Cuadrado, C., Romero, C., Guillamón, E., Varela, A., ... et Muzquiz, M. (2011). Content and distribution of protein, sugars and inositol phosphates during the germination and seedling growth of two cultivars of *Vicia faba*. *Journal of food composition and analysis*, 24(3), 391-397.
- Green, P. H., et Jabri, B. (2003). Coeliac disease. *The Lancet*, 362(9381), 383-391.
- Guaouar, Z. L., Besseguir, F. Z., Gharbi, M., et Kecir, I. (2022). Additifs alimentaires: Inventaire des substances ajoutées aux denrées alimentaires de large consommation dans l'Ouest algérien. *Journal de la faculté de médecine d'Oran*, 6(2), 805-814.
- Guéguen, J., Walrand, S., et Bourgeois, O. (2016). Les protéines végétales: contexte et potentiels en alimentation humaine. *Cahiers de Nutrition et de Diététique*, 51(4), 177-185
- Guéneau, S. (2021). État des lieux des systèmes de certification du soja et analyse de leur compatibilité avec la stratégie nationale de lutte contre la déforestation importée. *Cirad/CST Forêt*.
- Guezlane, L. (1993). Mise au point de méthodes de caractérisation et étude des modifications physico-chimiques sous l'effet des traitements hydrothermiques en vue d'optimiser la qualité du couscous de blé dur (Doctoral dissertation, INA).
- Guillin, F. (2021). Qualité nutritionnelle de la protéine de pois et développement méthodologique sur la digestibilité des acides aminés chez le rat et chez l'Homme (Doctoral dissertation, Université Paris-Saclay).
- Guillin, F. M., Gaudichon, C., Guérin-Deremaux, L., Lefranc-Millot, C., Airinei, G., Khodorova, N., et Calvez, J. (2022). Real ileal amino acid digestibility of pea protein compared to casein in healthy humans: a randomized trial. *The American journal of clinical nutrition*, 115(2), 353-363.
- Guirrou, I., Kassimi, C., Fatemi, Z. A., Daoui, K., et Noutfia, Y. (2022). Impact du renforcement du couscous par des légumineuses alimentaires sur le profil biochimique et microbiologique. *African and Mediterranean Agricultural Journal-Al Awamia*, (134), 129-149.

- **Hadi, A., et Sbihi, M. (2014).** Profil épidémiologique, clinique, immunologique, histologique et évolutif de la maladie cœliaque chez l'enfant (A propos de 220 cas).
- **Hadjipanayiotou, M. (2000).** Chemical composition, digestibility and in situ degradability of narbon vetch grain and straw grown in a Mediterranean region. In *Annales de zootechnie* (Vol. 49, No. 6, pp. 475-478). EDP Sciences.
- **Hall, C., Hillen, C., et Garden Robinson, J. (2017).** Composition, nutritional value, and health benefits of pulses. *Cereal Chemistry*, 94(1), 11-31.
- **Hama-Ba, F., Silga, P., et Diawara, B. (2016).** Evaluation de la qualité et de l'acceptabilité de couscous à base de trois formulations de farines composites enrichies au soja (Glycine max) et au moringa (*Moringa oleifera*). *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, 10(6), 2497-2510.
- **Harrak, H., Hamouda, A., et Nadi, M. (2018).** Évaluation et amélioration de la qualité des pâtes traditionnelles de dattes, produits du terroir des oasis. *Cahiers Agricultures*, 27(1), 15001.
- **Hausch, F., Shan, L., Santiago, N. A., Gray, G. M., & Khosla, C. (2002).** Intestinal digestive resistance of immunodominant gliadin peptides. *American Journal of Physiology-Gastrointestinal and Liver Physiology*, 283(4), G996-G1003.
- **Heuzé, V., Tran, G., Sauvant, D., Bastianelli, D., et Lebas, F. (2015).** Lentil (*Lens culinaris*).
- **Houedo, C. S., Houssou, P. A., Sognigbe, B., Tchobo, P. F., et Chabi, N. W. (2023).** Détermination de la bonne qualité de cossette d'igname à travers une analyse des pratiques endogènes de sa production au Bénin. *Afrique SCIENCE*, 23(6), 104-117.
- **Hossain, M. S., et Mortuza, M. G. (2006).** Chemical composition of Kalimatar, a locally grown strain of faba bean (*Vicia faba* L.). *Pak. J. Biol. Sci*, 9(9), 1817-1822.
- **Hu, X., Hu, L., Zheng, J., et Rong, J. (2022).** Classification, processing procedures, and market demand of Chinese biscuits and the breeding of special wheat for biscuit making. *Journal of Food Quality*, 2022.
- **Ibrahima, F. B., Koua, D. K., Ebou, E. T. A., et Brou, Y. C. (2023).** Effet additif des légumineuses des systèmes multi-espèces sur la productivité du maïs, la fertilité des terres surexploitées et la rentabilité économique. *International Journal of Innovation and Applied Studies*, 40(1), 258-270.
- **Idir, K. A. (2020).** Épidémiologie de la maladie cœliaque dans le monde Epidemiology of Celiac Disease worldwide. *Med Sci*, 7, 1-5.

- **Ingelbrecht, J. A., Moers, K., Abecassis, J., Rouau, X., et Delcour, J. A. (2001).** Influence of arabinoxylans and endoxylanases on pasta processing and quality. Production of high-quality pasta with increased levels of soluble fiber. *Cereal chemistry*, 78(6), 721-729.
- **Iqbal, A., Khalil, I. A., Ateeq, N., et Khan, M. S. (2006).** Nutritional quality of important food legumes. *Food chemistry*, 97(2), 331-335.
- **Jacquemot, P. (2023).** *De l'insécurité à la souveraineté alimentaire en Afrique* (Doctoral dissertation, Willagri-UM6P).
- **Jana, S., et Singh, K. B. (1993).** Evidence of geographical divergence in kabuli chickpea from germplasm evaluation data. *Crop Science*, 33(3), 626-632.
- **Jeantet, R., Croguennec, T., Schuck, P., et Brule, G. (2016).** Handbook of food science and technology 2: food process engineering and packaging (Vol. 2). John Wiley and Sons.
- **Jendoubi, W., Bouhadida, M., Boukteb, A., Béji, M., et Kharrat, M. (2017).** Fusarium wilt affecting chickpea crop. *Agriculture*, 7(3), 23.
- **Joubert, M., Morel, M. H., Samson, M. F., Thomas, R., Justes, E., Leygue, J. P., et Lullien-Pellerin, V. (2018).** Impact de la variabilité de blés durs issus d'itinéraires techniques innovants (ITK) sur leur aptitude à la transformation. In *Phloème-Premières biennales de l'innovation céréalière* (pp. 450-p). Editions Quae, Arvalis-Institut du Végétal.
- **Joliat, L., et Schlaeppy, L. (2019).** Alimentation sans gluten: quels sont les impacts sur le statut en métaux lourds de l'organisme et sur la qualité nutritionnelle des produits ultra-transformés ? : travail de Bachelor (Doctoral dissertation, Haute école de santé Genève).
- **Jukanti, A. K., Gaur, P. M., Gowda, C. L. L., et Chibbar, R. N. (2012).** Nutritional quality and health benefits of chickpea (*Cicer arietinum L.*): a review. *British Journal of Nutrition*, 108(S1), S11-S26.
- **Kaci, G. (2018).** Effet de l'association et de la rotation blé dur (*Triticum durum Desf.*)/Féverole (*Vicia faba L.*) sur les cycles biogéochimique du carbone, de l'azote et du phosphore (Doctoral dissertation, ENSA).
- **Kaddour, F. F., Mahdad, N., Nedjadi, K. B., et Bouchenak, M. (2023).** Adhésion au Régime Méditerranéen chez une population pédiatrique atteinte de maladie cœliaque et sous régime sans gluten. *Nutrition Clinique et Métabolisme*, 37(2), e78-e79.
- **Kamil, M. M., Hussien, A. M., Ragab, G. H., et Khalil, S. K. H. (2011).** Detecting adulteration of durum wheat pasta by FT-IR spectroscopy. *Journal of American Science*, 7(6), 573-578.

- **Kanj, F. (2018)**. Outils et méthodes pour une politique territoriale de gestion raisonnée des pratiques agricoles: cas d'application dans la région de la Béqaa au Liban (Doctoral dissertation, Université Paul Valéry-Montpellier III).
- **Kaouane, L. (2022)**. Préparation traditionnelle d'une farine de riz et essai d'élaboration d'un biscuit sans gluten destiné aux malades cœliaques (Doctoral dissertation, Université Mouloud Mammeri).
- **Kaplan, M. (2013)**. Alimentation sans gluten ni laitages (*nouvelle édition*). Éditions Jouvence.
- **Karaki, L. (2013)**. Diversité génétique et fonctionnelle des molécules homologues de PA1b chez *Medicago truncatula* Gaertn. ainsi qu'au sein de légumineuses originaires du Liban (Doctoral dissertation, INSA de Lyon; Université Libanaise).
- **Kharrat, M., Ben Salah, H., et Maatougui, M. H. (2023)**. Étude sur la filière des légumineuses alimentaires et fourragères en Afrique du Nord. Food et Agriculture Org..
- **Keddar, M. N. (2014)**. Caractérisation physico-chimique, biochimique et technologique de quelques variétés de blé dur algérien destinées à la panification (Doctoral dissertation).
- Kjeldhal J., 1883. Meue method lurk besyimmung des stichs offs in organischemkorpon. Z. Anal. Chem., 22: 366-382.
- **Kezih, R., Bekhouche, F., et Merazka, A. (2014)**. Some traditional Algerian products from durum wheat. *Afr J Food Sci*, 8(1), 30e4.
- **Kherif, O., Seghouani, M., Justes, E., Plaza-Bonilla, D., Bouhenache, A., Zemmouri, B., ... et Latati, M. (2022)**. The first calibration and evaluation of the STICS soil-crop model on chickpea-based intercropping system under Mediterranean conditions. *European Journal of Agronomy*, 133, 126449.
- **Kiger J.L., Kiger J.G., (1967)**. Techniques modernes de la biscuiterie, pâtisserie, boulangerie industrielle et artisanale et les produits de régime.Ed . DUNOD. Paris. France. pp 676.
- **Kjeldhal J., (1883)**. Meue method lurk besyimmung des stichs offs in organischemkorpon. Z. Anal. Chem., 22: 366-382.
- **Köpke, U., et Nemecek, T. (2010)**. Ecological services of faba bean. *Field crops research*, 115(3), 217-233.
- **Laleg, K. (2016)**. L'enrichissement protéique et les paramètres du procédé influencent-ils la structure chimique, les propriétés d'usage, la digestibilité et l'efficacité métabolique des

- fractions protéiques de spécialités pastières à base de légumineuses? (Doctoral dissertation, Université d'Auvergne-Clermont-Ferrand I).
- **Laleg, K., Cassan, D., Barron, C., Cordelle, S., Schlich, P., Walrand, S., et Micard, V. (2017).** Qualités culinaires, sensorielles et nutritionnelles de pâtes alimentaires sans gluten à base de légumineuses. *Innovations Agronomiques*, 60, 145-156.
 - **Lara, E., Cortés, P., Briones, V., et Perez, M. (2011).** Structural and physical modifications of corn biscuits during baking process. *LWT-Food Science and Technology*, 44(3), 622-630.
 - **Larralde, J., et Martinez, J. A. (1991).** Nutritional value of faba bean: effects on nutrient utilization, protein turnover and immunity. *Options Méditerranées–Ser. Séminaires*, 10, 111-117.
 - **Latham, M. C. (2001).** La nutrition dans les pays en développement (No. 29). Food et Agriculture Org.
 - **Lebbal, F. (2010).** Contribution à l'étude dynamique et thermique de l'air à l'intérieur d'une serre en verre de type Venlo dans les régions des Aurès; les hauts plateaux est d'Algérie (Etude de simulation (Doctoral dissertation, Université de Batna 2).
 - **Lecerf, J. M. (2016).** Le génie des légumineuses. *Pratiques en Nutrition: santé et alimentation*, 12, 36-39.
 - **Lecerf, J. M., et Le-May, S. (2021).** Quels produits céréaliers pour le petit-déjeuner?. *Cahiers de Nutrition et de Diététique*, 56(1), 67-78.
 - **Lecoq, R. (1965).** Manuel des analyses alimentaires et d'expertise usuelle, ed : DOIN, Paris, 938p.
 - **Lefevre, C. (2022).** Compréhension et modélisation des transitions de phase de l'amidon et des protéines lors de l'opération de trempage– cuisson des légumineuses pour piloter la digestibilité des protéines (Doctoral dissertation, Université de Montpellier).
 - **Lefkir, S. (2018).** Etude et optimisation des conditions d'hydratation des semoules de blé dur sur l'expression de la qualité technologique du couscous. Thèse de Doctoral dissertation.
 - **Lepers, S., Couignoux, S., Colombel, J. F., et Dubucquoi, S. (2004).** La maladie cœliaque de l'adulte: aspects nouveaux. *La revue de médecine interne*, 25(1), 22-34.
 - **Le Roux, X., Barbault, R., Baudry, J., Burel, F., Doussan, I., Garnier, E., et Trommetter, M. (2012).** Agriculture et biodiversité. 178p.
 - **Lionetti, E., et Catassi, C. (2011).** New clues in celiac disease epidemiology, pathogenesis, clinical manifestations, and treatment. *International reviews of immunology*, 30(4), 219-231.

- **Lionetti, E., Antonucci, N., Marinelli, M., Bartolomei, B., Franceschini, E., Gatti, S., et Catassi, C. (2020).** Nutritional status, dietary intake, and adherence to the mediterranean diet of children with celiac disease on a gluten-free diet: A case-control prospective study. *Nutrients*, 12(1), 143.
- **Lis, D. M., Fell, J. W., Ahuja, K. D., Kitic, C. M., et Stellingwerff, T. (2016).** Commercial hype versus reality: our current scientific understanding of gluten and athletic performance. *Current Sports Medicine Reports*, 15(4), 262-268.
- **Logan, K., Perkin, M. R., et Marrs, T. (2021).** Le risque de maladie cœliaque diminue-t-il suite à l'introduction de gluten dans l'alimentation des nourrissons à l'âge de 4 mois? *Minerva*, 20(6), 74-77.
- **Lopez, H. W., Remesy, C., et Demigne, C. (1998).** L'acide phytique: un composé utile?. *Medecine et Nutrition (France)*, 34(4).
- **Lucas, I., Petermeier, H., Becker, T., et Jekle, M. (2019).** Definition of network types—Prediction of dough mechanical behaviour under shear by gluten microstructure. *Scientific Reports*, 9(1), 4700.
- **Ludvigsson, J. F., Rubio-Tapia, A., Van Dyke, C. T., Melton III, J. L., Zinsmeister, A. R., Lahr, B. D., et Murray, J. A. (2013).** Increasing incidence of celiac disease in a North American population. *Official journal of the American College of Gastroenterology/ACG*, 108(5), 818-824.
- **Ludvigsson, J. F., Håberg, S. E., Knudsen, G. P., Lafolie, P., Zoega, H., Sarkkola, C., et Nørgaard, M. (2015).** Ethical aspects of registry-based research in the Nordic countries. *Clinical epidemiology*, 491-508.
- **Maache-Rezzoug, Z., Bouvier, J. M., Allaf, K., et Patras, C. (1998).** Effect of principal ingredients on rheological behaviour of biscuit dough and on quality of biscuits. *Journal of Food Engineering*, 35(1), 23-42.
- **Machiels, D., et Istasse, L. (2002).** La réaction de Maillard: importance et applications en chimie des aliments. *Ann. Méd. Vét.*, 146, 347-352.
- **Magrini, M. B., Anton, M., Cholez, C., Duc, G., Hellou, G., Jeuffroy, M. H., et Walrand, S. (2017).** Transition vers des systèmes agricole et agroalimentaire durables: quelle place et qualification pour les légumineuses à graines? 1. *Revue française de socio-économie*, (1), 53-75.

- **Mahmah, S., Mebarkia, A., et Rekik, F. (2023).** A comparative study on narbon vetch and common vetch in the semi-arid region of Setif (Algeria). *Journal of Agricultural Sciences (Belgrade)*, 68(3), 263-282.
- **Makhlouf, J., Castaigne, F., et Simard, C. (1983).** Œufs liquides industriels à humidité intermédiaire. III. Comportement fonctionnel et performance technologique au cours de l'entreposage. *Canadian Institute of Food Science and Technology Journal*, 16(2), 136-140.
- **Malamut, G. (2012).** La maladie cœliaque. *Médecine & nutrition*, 48(4), 24-27.
- **Malamut, G., et Cellier, C. (2013).** Manifestations de la maladie cœliaque de l'adulte. *Pathologie Biologie*, 61(3), e47-e51.
- **Mamat, H., et Hill, S. E. (2018).** Structural and functional properties of major ingredients of biscuit. *International food research journal*, 25(2).
- **Manickavasagan, A., et Thirunathan, P. (Eds.). (2020).** Pulses: processing and product development. Springer Nature.
- **Manohar, R. S., et Rao, P. H. (2002).** Interrelationship between rheological characteristics of dough and quality of biscuits; use of elastic recovery of dough to predict biscuit quality. *Food Research International*, 35(9), 807-813.
- **Manley, D. (1998).** Biscuit, Cookie and Cracker Manufacturing Manuals: Manual 1: Ingredients (Vol. 1). Woodhead publishing.
- **Manley, D., Van Ham, M., et Doherty, J. (2011).** Social mixing as a cure for negative neighbourhood effects: evidence-based policy or urban myth?. In *Mixed communities* (pp. 151-168). Policy Press.
- **Manthey, F. A., et Hall III, C. A. (2007).** Effect of processing and cooking on the content of minerals and protein in pasta containing buckwheat bran flour. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 87(11), 2026-2033.
- **Maphosa, Y., et Jideani, V. A. (2017).** The role of legumes in human nutrition. *Functional food-improve health through adequate food*, 1, 13.
- **Marceau, G. A. S. T. (2010).** Une hypothèse sur l'origine historique et culturelle du couscous. Couscous, boulgour et polenta: Transformer et consommer les céréales dans le monde, *Paris, Khartala*, 67-81.
- **Margier, M., Nowicki, M., Siriaco, A., Georgé, S., Amiot, M. J., et Reboul, E. (2017).** Effet des légumineuses sur la biodisponibilité des vitamines liposolubles. *Nutrition Clinique et Métabolisme*, 31(3), 222-223.

- **Mart, D., Can, C., Ozyigit, I. I., Turkeri, M., Mart, S., et Yucel, D. (2022).** The tolerance of some registered chickpea (*Cicer arietinum* L.) varieties against *Ascochyta* blight (*Ascochyta rabiei*) in the Eastern-Mediterranean region. *Journal of Nutritional Health and Food Engineering*, 12(2), 55-59.
- **Martin, B., Graulet, B., Uijtewaal, A., Ferlay, A., Coppa, M., et Rémond, D. (2019).** Contribution des produits laitiers aux apports nutritionnels selon la nature des fourrages distribués aux vaches laitières. *Fourrages*, 239, 193-202.
- **Mariotti, F., et Gardner, C. D. (2020).** Adéquation de l'apport en protéines et acides aminés dans les régimes végétariens. *Cahiers de nutrition et de diététique*, 55(2), 66-81.
- **Masrar, H., et Benhadda, H. (2024).** L'art du métissage de saveurs et de goûts dans la cuisine juive marocaine. *La revue, Mediterranean Migration & Medias*, 2(1), 184-193.
- **Matuchansky, C., Vahedi, K., MORIN, M. C., et Bouhnik, Y. (1999).** Régime sans gluten et maladie coeliaque de l'adulte. *Gastroentérologie clinique et biologique*, 23(5BIS), B115-B123.
- **Medjahed, A., Haddou, R., Kermas, M., Kihel, I., et BENSALAH, F. (2024).** Valorisation de la consommation des céréales et légumineuses chez les sportifs (Doctoral dissertation).
- **Menard G., Poirier D., Boudreau A., (1992).** les biscuiteries industrielles Le blé : éléments Fondamentaux et transformation. Les presses de l'université Laval. Sainte-Foy. Canada : 287-348- 439
- **Menasra, A. (2020).** Etude de la formulation et des traitements technologiques des biscuits enrichis (Doctoral dissertation, UB1).
- **Mercier, S. (2016).** Modélisation de la production de pâtes alimentaires traditionnelles et enrichies (Doctoral dissertation, Université de Sherbrooke).
- **Micard, V., Brossard, C., Champ, M., Crenon, I., Jourdheuil-Rahmani, D., Minier, C., et Petitot, M. (2010).** Aliment mixte «blé dur-légumineuse»: influence de la structuration de leurs constituants sur leurs qualités nutritionnelles et organoleptiques. *Cahiers de Nutrition et de Diététique*, 45(5), 237-245.
- **Micard, V., Laleg, K., et Walrand, S. (2017).** Est-il possible de moduler l'index glycémique, la digestibilité et l'efficacité métabolique des protéines des pâtes alimentaires en modulant leur structure via la formulation et des procédés de fabrication? In *JFN 2017, Journées Francophones de Nutrition* (p. 460).

- **Misbah, A., Essarioui, A., et Noutfia, Y. (2022).** Technologies post-récolte pour la préservation de la qualité des dattes durant le stockage. *African and Mediterranean Agricultural Journal-Al Awamia*, (134), 30-59.
- **Mohtadji-Lamballais, C. (1989).** Les aliments. Ed. Maloine.
- **Mouslih, A., El Rhazi, K., Bahra, N., Idrissi, M. L., et Hida, M. (2023).** Gluten-Free Diet Compliance in Children With Celiac Disease and Its Effect on Clinical Symptoms: A Retrospective Cohort Study. *Cureus*, 15(12).
- **Mulume, D. A., Muzusangabo, D. B., Zirhumana, J. M., Brigatti, T., Mwishu, S. W., Kazige, O. K., et Mukonduasumu, P. N. (2024).** Efficacité des conservateurs acides et hydrocolloïdes alimentaires sur la durée de conservation du lait cru à température ambiante. *Nature & Technology*, 16(1), 11-27.
- **Nana, C. P., Barro, N., Ouattara, C. A. T., et Tamini, Z. (2000).** Étude comparative de l'effet inhibiteur d'extraits de graines de la lentille de terre, du niébé et du pois de terre vis-à-vis de la trypsine et de la chymotrypsine. *Sciences Naturelles et Appliquées*, 24(2).
- **Nana, R., Bonkougou, S., Miningou, A., Bama, B. H., et Sohero, H. (2020).** Evaluation agro-morphologique de sept écotypes de lentille de terre (*Macrotyloma geocarpum*) cultivés au Burkina Faso. *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, 14(3), 835-847.
- **Nasri, S., Zarroug, Y., Ferjani, E., Zoghlami-Khelil, A., et Salem, H. B. (2023).** Composition biochimique des graines de quelques accessions et populations locales de la vesce de Narbonne (*Vicia narbonensis L.*). *Annales de l'INRAT*, volume 96, ISSN : 0365-4761.
- **Nassy, G., et Lecerf, J. M. (2024).** À quoi sert le sel dans les aliments? Exemple de la charcuterie-salaison. *La Presse Médicale Formation*, 5(4), 283-288.
- **Ndangui, C. B. (2015).** Production et caractérisation de farine de patate douce (*Ipomoea batatas Lam*): optimisation de la technologie de panification. Ecole Nationale Supérieure d'Agronomie et des Industries Alimentaires, Laboratoire d'Ingénierie des Biomolécules, 151p.
- **Née Ky, J. M. D., Gbehe, S., et Youo, D. C. (2017).** Caractérisation de neuf échantillons de farine de maïs *Zea mays (L.)* vendus sur les marchés d'Adjamé, Yopougon et Abobo en Côte d'Ivoire. *Journal of Applied Biosciences*, 115, 11434-11440.
- **N'goran Mogbaih Eléonore, N. (2015).** Suivi de la Transformation des fèves de Cacao et Application de l'HACCP au niveau de l'Entreprise SACO en Côte d'Ivoire.

- **Nguyen, T. T. (2015)**. Contribution à l'utilisation du lactulose comme additif fonctionnel dans la fabrication de pain riche en son de blé (Doctoral dissertation, Université Laval).
- **Nono, Y. J., Reynes, M., Zakhia, N., Raoult-Wack, A. L., et Giroux, F. (2002)**. Mise au point d'un procédé combiné de déshydratation imprégnation par immersion et séchage de bananes (*Musa acuminata* groupe Cavendish). *Journal of Food engineering*, 55(3), 231-236.
- **Nosworthy, M. G., Medina, G., Franczyk, A. J., Neufeld, J., Appah, P., Utioh, A., et House, J. D. (2020)**. Thermal processing methods differentially affect the protein quality of Chickpea (*Cicer arietinum*). *Food science & nutrition*, 8(6), 2950-2958.
- **Nuessly, G. S., Hentz, M. G., Beiriger, R., et Scully, B. T. (2004)**. Insects associated with faba bean, *Vicia faba* (Fabales: Fabaceae), in southern Florida. *Florida entomologist*, 87(2), 204-211.
- **Oliveira, S., Fradinho, P., Mata, P., Moreira-Leite, B., et Raymundo, A. (2019)**. Exploring innovation in a traditional sweet pastry: Pastel de Nata. *International Journal of Gastronomy and Food Science*, 17, 100160.
- **Olives, J. P. (2013)**. La maladie cœliaque. *Gastroentérologie et Nutrition Pédiatrique*, 13-14.
- **Ouedraogo, I. Z., Kiendrebeogo, T., Komdombo, S. R., Sombie, P. É., N'Gom, S., Ouattara, L., et Kabore-Zoungrana, C. Y. (2023)**. Disponibilité et technologies d'amélioration des teneurs en lysine et en méthionine des ingrédients utilisés dans l'alimentation des porcs et des poulets: Revue de littérature. *International Journal of Innovation and Applied Studies*, 40(2), 532-544.
- **Oulbachir, K. (2021)**. Etude comparative des fluctuations de la microflore du sol sous culture de céréales et de légumineuses Tiaret (Doctoral dissertation, Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie).
- **Ounane, G. (2007)**. Influence de la température de séchage et de la supplémentation protéique sur la qualité des pâtes alimentaires (Doctoral dissertation, ENSA).
- **Parayre, S., Kponouglo, K., Silande, C., Gagnaire, V., Falentin, H., Valence, F., et Deutsch, S. M. (2024, June)**. *Lactiplantibacillus plantarum* et *Lactobacillus helveticus*: des espèces efficaces pour dégrader l'acide phytique présent dans les légumineuses, céréales et pseudo-céréales. In *24e édition du Congrès du Club des Bactéries Lactiques (CBL)*.
- **Pearlman, M., et Casey, L. (2019)**. Who should be gluten-free? A review for the general practitioner. *Medical Clinics*, 103(1), 89-99.
- **Pellegrini, N., et Agostoni, C. (2015)**. Nutritional aspects of gluten-free products. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 95(12), 2380-2385.

- **Petitot, M., Abecassis, J., et Micard, V. (2009).** Structuring of pasta components during processing: impact on starch and protein digestibility and allergenicity. *Trends in Food Science & Technology*, 20(11-12), 521-532.
- **Petitot, M. (2009).** Pâtes alimentaires enrichies en légumineuse: structuration des constituants au cours du procédé: impact sur la qualité culinaire et les propriétés nutritionnelles des pâtes (Doctoral dissertation, Montpellier SupAgro).
- **Petitot, M., Boyer, L., Minier, C., et Micard, V. (2010).** Fortification of pasta with split pea and faba bean flours: Pasta processing and quality evaluation. *Food research international*, 43(2), 634-641.
- **Peron, J-Y (2006).** Production légumière. 2eme Ed. Fayard, Paris, 613p.
- **Pınarlı, İ., İbanoğlu, Ş., et Öner, M. D. (2004).** Effect of storage on the selected properties of macaroni enriched with wheat germ. *Journal of Food Engineering*, 64(2), 249-256.
- **Pinel, P., Drogué, S., Robert, M., Cassan, D., Bourlieu-Lacanal, C., Carlin, M. J. A., et Micard, V. (2023).** Intérêt nutritionnel de pâtes sans gluten faites à partir de matières premières africaines. In *Journée Francophone de Nutrition*.
- **Pitte, J. R. (2024).** Françoise Sabban, La Chine par le menu. Cuisine, culture culinaire et traditions alimentaires chinoises. *La Géographie*, 1592(1), 58-58.
- **Pointereau, P. (2001).** Légumineuses: quels enjeux écologiques? Le Courrier de l'environnement de l'INRA, (44), 69-72.
- **Polese, J. M. (2006).** La culture des haricots et des pois. Editions Artemis.
- **Porte, F. (2017).** Frumentum commeatusque: l'alimentation des légions romaines en campagne au Ier siècle avant J.-C. *Revue des études anciennes*, 119(2), 551-583.
- **Portha, B., et Liu, J. (2023).** Les AGE (produits terminaux de glycation): attention danger. Origine, effets toxiques et stratégies thérapeutiques. *Cahiers de Nutrition et de Diététique*, 58(6), 376-388.
- **Pouyat-Leclère, J., et Birlouez-Aragon, I. (2005).** *Cuisson et santé: la cuisson, c'est capital pour la santé*. Alpen Editions sam.
- **Pratap, A., et Kumar, J. (2011).** Biology and breeding of food legumes. CABI.
- **Rabany, M. (2010).** Le couscous: la tradition et la modernité d'une graine millénaire.
- **Rachwa-Rosiak, D., Nebesny, E., et Budryn, G. (2015).** Chickpeas-composition, nutritional value, health benefits, application to bread and snacks: a review. *Critical reviews in food science and nutrition*, 55(8), 1137-1145.

- **Rahmani, S. (2018).** Effet de l'antracnose du pois chiche (*cicer arietinum*L.) sur le rendement et ses composantes en zone semi aride (Doctoral dissertation).
- **Rahmouni, D. (2023).** Promouvoir l'attractivité territoriale par l'activité culinaire traditionnelle: cas du projet de couscous de LAHLOU. *Revue tadamsa d'unegmu*, 3(2), 71-82.
- **Rawashdeh, M. O., et Majeed, H. A. (1996).** Familial Mediterranean fever in Arab children: the high prevalence and gene frequency. *European journal of pediatrics*, 155, 540-544.
- **Rawal, V, et Navarro, D. K. (2019).** The global economy of pulses. FAO.
- **Rebai, N., Rahmani, A., Chacha, F., Douh, M., Ahmed Laloui, H., Cherb, N., et Abbas, K. (2023).** Effets de régimes contenant différentes proportions de féverole (*Vicia faba var. minor*) sur les performances d'engraissement, les caractéristiques des carcasses et la qualité de la viande d'agneaux mâles de race Ouled Djellal. *Livestock Research for Rural Development*, 35(5).
- **Rebzani, F., Doumandji, A., Ferrouga, S., & Alili, D. (2021).** Couscous sans gluten incorporé de Spiruline: caractérisation biochimique et nutritionnelle. *Agrobiologia*, 10(3), 2250-2263.
- **Rémésy, C., Leenhardt, F., et Fardet, A. (2015).** Donner un nouvel avenir au pain dans le cadre d'une alimentation durable et préventive. *Cahiers de nutrition et de diététique*, 50(1), 39-46.
- **Rémond, E., Martin, C., Martinez, J., et Cavelier, F. (2016).** Silicon-containing amino acids: synthetic aspects, conformational studies, and applications to bioactive peptides. *Chemical Reviews*, 116(19), 11654-11684.
- **Remond, D., et Walrand, S. (2017).** Les graines de légumineuses: caractéristiques nutritionnelles et effets sur la santé. *Innovations Agronomiques*, 60, np
- **Renoux, J. (2018).** Elaboration par extrusion de mélanges de polymères et de nanocomposites biodégradables avec des protéines de soja isolées (Doctoral dissertation, Ecole nationale supérieure Mines-Télécom Lille Douai).
- **Reyniers, S., Vluymans, N., De Brier, N., Ooms, N., Matthijs, S., Brijs, K., et Delcour, J. A. (2020).** Amylolysis as a tool to control amylose chain length and to tailor gel formation during potato-based crisp making. *Food hydrocolloids*, 103, 105658.
- **Reyrolle, M. (2022).** Empreinte volatile des produits agroalimentaires: un nouvel outil pour tracer l'authenticité et suivre des procédés (Doctoral dissertation, Université de Pau et des Pays de l'Adour).

- **Rio, C. (2017).** Les légumes secs, aliments de choix à valoriser. *Cahiers de Nutrition et de Diététique*, 52(2), 71-77.
- **Rodríguez-Rodríguez, J., et Albarrán-Rodríguez, E. (2019).** Development of bitter chocolate bonbon stuffed with almond (*Prunus Amygdalus Var. Dulcis*) and its physicochemical evaluation and sensory acceptance. *Journal of Food Science and Engineering*, 9, 217-224.
- **Rodriguez Garcia, S. L., et Raghavan, V. (2022).** Green extraction techniques from fruit and vegetable waste to obtain bioactive compounds—A review. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 62(23), 6446-6466.
- **Roshid, M., Wazed, M. A., Islam, M. R., Mahomud, M. S., et Khatun, H. (2016).** Preparation of gluten free bread using the mixture of different cereals grain flour. *International journal of advanced multidisciplinary research*, 3(5), 9-16.
- **Rostom, A., Murray, J. A., et Kagnoff, M. F. (2006).** American Gastroenterological Association (AGA) Institute technical review on the diagnosis and management of celiac disease. *Gastroenterology*, 131(6), 1981-2002.
- **Ruas, M. P. (2018).** Fruits et légumes consommés au Maroc antique et médiéval: témoignages archéobotaniques. *Horizons Maghrébins*, (79), 161-185.
- **Rubiales, D., Araújo, S. S., Vaz Patto, M. C., Rispaill, N., et Valdés-López, O. (2018).** Advances in legume research. *Frontiers in Plant Science*, 9, 501.
- **Ruch, Y., Labidi, A., Martin, A., Weingertner, N., Hansmann, Y., Lefebvre, N., et Dieudonné, Y. (2019).** Le syndrome de cavitation ganglionnaire mésentérique, complication rare de la maladie cœliaque de l'adulte: à propos de quatre cas et revue de la littérature. *La Revue de médecine interne*, 40(8), 536-544.
- **Saad, M. (2011).** Étude des mécanismes d'agglomération des poudres céréalières: contribution des caractéristiques physiques et chimiques des particules sur leur réactivité. Application pour la fabrication de couscous (Doctoral dissertation, Montpellier, SupAgro).
- **Saadi, L. O., Zaidi, F., Oomah, B. D., Haros, M., Yebra, M. J., et Hosseinian, F. (2017).** Pulse ingredients supplementation affects kefir quality and antioxidant capacity during storage. *LWT*, 86, 619-626.
- **Saadi, I., De Luca, F., Fanelli, E., Troccoli, A., Greco, N., et Benbouza, H. (2019).** Morpho-molecular characterization of *Ditylenchus gigas* and *D. oncogenus* parasitizing broad bean, *Vicia faba*, in Algeria. *European Journal of Plant Pathology*, 155, 505-513.

- **Saadoudi, M. (2019)**. Caractérisation biochimique, conservation et essais d'élaboration des produits alimentaires à base du fruit de *Zizyphus lotus L* (Doctoral dissertation, UB1).
- **Sadouni, R. (2023)**. Traduction de l'art culinaire kabyle d'Algérie en arabe. Histoire de ma vie" de Fadhma Aith Mansour Amrouche, Expérience d'une traductrice. In *Gastronomia în textul (non) literar-o abordare interculturală*", (pp. 13-24).
- **Sharan, S., Zanghelini, G., Zotzel, J., Bonerz, D., Aschoff, J., Saint-Eve, A., et Maillard, M. N. (2021)**. Fava bean (*Vicia faba L.*) for food applications: From seed to ingredient processing and its effect on functional properties, antinutritional factors, flavor, and color. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 20(1), 401-428.
- **Sahin, A. W., Atzler, J. J., Crofton, E., Gallagher, E., Zannini, E., Walter, J., & Arendt, E. K. (2023)**. Impact of different fibre ingredients on a low-FODMAP biscuit model system. *Food & Function*, 14(15), 7082-7095.
- **Sahri, A., Chegali, Y., Qariouh, N., et Ouabbou, H. (2023)**. Diversité phénotypique et structure des populations de lentilles conservées à la banque de gènes de l'INRA. *African and Mediterranean Agricultural Journal-Al Awamia*, (141), 77-98.
- **Sharma, A., et Zhou, W. (2011)**. A stability study of green tea catechins during the biscuit making process. *Food Chemistry*, 126(2), 568-573.
- **Said, H. A., Hasna, A. S., Elmoumou, L., Lahcen, E., Guennouni, M., Morad, G., et El Kadmiri, N. (2023)**. IgE mediated food allergy and celiac disease: An updated review. *Russian Journal of Allergy*, 20(4), 488-500.
- **Salah, K. (2016)**. Incorporation des protéines de canola dans du pain sans gluten: impact technologique et modélisation du processus de cuisson.
- **Salomé, M. (2021)**. Place des substituts végétaux issus de la filière oléo-protéagineuse dans la transition protéique de la population française: analyses, simulations et optimisations nutritionnelles (Doctoral dissertation, Université Paris-Saclay).
- **Salles, C. (2024)**. Sel, goût et appétit. *La Presse Médicale Formation*, 5(4), 309-316.
- **Sanjeeva, W. T., Wanasundara, J. P., Pietrasik, Z., et Shand, P. J. (2010)**. Characterization of chickpea (*Cicer arietinum L.*) flours and application in low-fat pork bologna as a model system. *Food Research International*, 43(2), 617-626.
- **Sanjeeva, W. T Pearlman, M., et Casey, L. (2019)**. Who should be gluten-free? A review for the general practitioner. *Medical Clinics*, 103(1), 89-99.
- **Sanna, S., Ouedraogo, M., Yonli, D., Nikiema, M. P., Traore, H., Traore, S., ... et Prasad, V. P. (2022)**. Effet de l'association céréale-légumineuse, de la gestion de l'eau et de

- la fertilité du sol pour l'amélioration de la productivité agricole dans l'Est du Burkina Faso. *Sciences Naturelles et Appliquées*, 41(2 (2)), 213-236.
- **Sapone, A., Lammers, K. M., Casolaro, V., Cammarota, M., Giuliano, M. T., De Rosa, M., et Fasano, A. (2011).** Divergence of gut permeability and mucosal immune gene expression in two gluten-associated conditions: celiac disease and gluten sensitivity. *BMC medicine*, 9, 1-11.
 - **Sarrat, J. (2007).** Il était, il était une fois mon Algérie à moi: biographie. Editeur Independant.
 - **Saulnier, L. (2012).** Les grains de céréales: diversité et compositions nutritionnelles. *Cahiers de Nutrition et de Diététique*, 47(1), S4-S15.
 - **Saulnier, L., et Micard, V. (2012).** Impact de la structure de l'aliment sur les propriétés nutritionnelles et l'acceptabilité du pain et des pâtes. *Innovations Agronomiques*, 19, 63-74.
 - **Savoie, I., Trystram, G., Duquenoy, A., Brunet, P., et Marchin, F. (1992).** Heat and mass transfer dynamic modelling of an indirect biscuit baking tunnel-oven. Part I: modelling principles. *Journal of food engineering*, 16(3), 173-196.
 - **Schlienger, J. L. (2020).** Diététique en pratique médicale courante: 55 fiches repas téléchargeables. Elsevier Health Sciences.
 - **Schmitz, J., et Garnier-Lengliné, H. (2008).** Diagnostic de la maladie cœliaque en 2008. *Archives de pédiatrie*, 15(4), 456-461.
 - **Schmitz, J. (2013).** Le régime sans gluten chez l'enfant. *Pathologie Biologie*, 61(3), 129-133.
 - **Seghairia W, S. S. (2015).** Evaluation de la qualité de trois types de couscous AMOR BENAMOR.
 - **Selmi, C., et Tsuneyama, K. (2010).** Nutrition, geoepidemiology, and autoimmunity. *Autoimmunity reviews*, 9(5), A267-A270.
 - **Setty, S. R. G., Tenza, D., Sviderskaya, E. V., Bennett, D. C., Raposo, G., et Marks, M. S. (2008).** Cell-specific ATP7A transport sustains copper-dependent tyrosinase activity in melanosomes. *Nature*, 454(7208), 1142-1146.
 - **Shen, Y., Chen, G., et Li, Y. (2019).** Effect of added sugars and amino acids on acrylamide formation in white pan bread. *Cereal Chemistry*, 96(3), 545-553.
 - **Sidibe, S. (2017).** Qualité de conservation des farines de complément, du djouka et du couscous aux feuilles d'épinard et d'amarante. *Agronomie Africaine*, 29(1), 75-82.

- . **Sidonie, A. M. E., Christian, K. T. R., Emmanuelle, D., et Edwige, D. A. (2021)**. Mise au point d'une boisson à base de l'ananas, de l'orange et de la carotte au Bénin. *International Journal of Innovation and Applied Studies*, 34(2), 194-204.
- **Sika, A. E., Kadji, B. R. L., Dje, K. M., Kone, F. T. M., Dabonne, S., et Koffi-Nevry, A. R. (2019)**. Qualité nutritionnelle, microbiologique et organoleptique de farines composées à base de maïs (*Zea mays*) et de safou (*Dacryodes edulis*) produites en Côte d'Ivoire. *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, 13(1), 325-337.
- **Singh, D. (1993)**. Adaptive significance of female physical attractiveness: role of waist-to-hip ratio. *Journal of personality and social psychology*, 65(2), 293.
- **Sissons, M. (2008)**. Role of durum wheat composition on the quality of pasta and bread. *Food*, 2(2), 75-90.
- **Sluková, M., Jurkaninová, L., Švec, I., et Skřivan, P. (2021)**. Rye--the nutritional and technological evaluation in Czech cereal technology--A review: Grain and flours. *Czech Journal of Food Sciences*, 39(1).
- **Songre-Ouattara, L. T., Gorga, K., Bationo, F., Savadogo, A., et Diawara, B. (2016)**. Utilisation du moringa, de la spiruline, de la patate douce à chair orange et d'un complexe minéral et vitaminique dans la fabrication de biscuits de sorgho enrichis destinés aux jeunes enfants. *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, 10(4), 1651-1665.
- **Souchon, I., et Braesco, V. (2022)**. Classer les aliments selon leur niveau de transformation-- Quels sont les différents systèmes et leurs limites?. *Cahiers de Nutrition et de Diététique*, 57(3), 194-209.
- **Souare, M. L. (2022)**. Étude de la composition biochimique et de la physico-chimie d'un modèle alimentaire à base de protéines de *Parkia biglobosa* (Doctoral dissertation, Université Bourgogne Franche-Comté).
- **Suha Uslu, O., Kurt, O., Kaya, E., et Kamalak, A. (2018)**. Effect of species on chemical composition, metabolizable energy, organic matter digestibility and methane production of some legume plants grown in Turkey. *Journal of applied animal research*, 46(1), 1158-1161.
- **Tharrault, J. F. (1997)**. Qualité biscuitière des farines de blé tender: des blés biscuitiers pour une bonne maîtrise de la texture des biscuits. In, GODON B. et LOISEL W. Guide pratique d'analyse dans les industries des céréales. *Lavoisier. Tec. et doc. Paris*.
- **Tebri, M., et Zeggane, L. (2016)**. Évaluation de la couleur de la semoule au cours de la grenaison et de la pastification (Doctoral dissertation, Université Mouloud Mammeri).

- **Thomas, A. (2016).** Les régimes végétariens sont-ils réellement bénéfiques pour la santé? (Doctoral dissertation, Université de Lorraine).
- **Tkoub, E. M. (2008).** Adult celiac disease.
- **Torjmen, F., Bradai, S., Hamida, S. B., Elloumi, H., Belkhamza, A., et Cheikh, I. (2019).** Profil épidémiologique, clinique et thérapeutique de la maladie cœliaque. *La Revue de Médecine Interne*, 40, A194-A195.
- **Tougan, U. P., et Théwis, A. (2020).** COVID-19 et sécurité alimentaire en Afrique Subsaharienne: Implications et mesures proactives d'atténuation des risques de malnutrition et de famine. *International Journal of Progressive Sciences and Technologies*, 20(1), 172-93.
- **Trinidad, T. P., Mallillin, A. C., Loyola, A. S., Sagum, R. S., & Encabo, R. R. (2010).** The potential health benefits of legumes as a good source of dietary fibre. *British journal of nutrition*, 103(4), 569-574.
- **Troadec, R. (2023).** Impact du procédé de fabrication du pain sur l'homéostasie intestinale (Doctoral dissertation, Université de Picardie Jules Verne (UPJV), Amiens, FRA.).
- **Ulbad, T. P., Anais, D. I., Charles, P. B., Were, P., Elolo, O. G., et André, T. (2021).** Caractéristiques physiques, qualité technologique et composition proximale des œufs de pintades Bonaparte du Bénin élevées avec ou sans accès au parcours extérieur. *International Journal of Innovation and Applied Studies*, 33(2), 313-325.
- **Van Gossum, A. (2016).** A quel régime faut-il se vouer ?. *Rev Med Brux*, 37, 289-93.
- **Varshney, R. K., Song, C., Saxena, R. K., Azam, S., Yu, S., Sharpe, A. G., et Cook, D. R. (2013).** Draft genome sequence of chickpea (*Cicer arietinum*) provides a resource for trait improvement. *Nature biotechnology*, 31(3), 240-246.
- **Vauquelin, B., et Rivière, P. (2023).** Maladie cœliaque. *La Revue de Médecine Interne*.
- **Vaz Patto, M. C., Mecha, E., Pereira, A. B., Leitão, S. T., Alves, M. L., et Bronze, M. R. (2018).** Deciphering grain legumes quality riddle: the genomics of bioactive compounds. In *Breeding grasses and protein crops in the era of genomics* (pp. 118-120). Springer International Publishing.
- **Versini, C. (2016).** Message corse entendu sur le plateau du Coscione: récit. *Message corse entendu sur le plateau du Coscione*, 1-378.
- **Vodouhe-Egueh, S., Alidou, C., Aboudou, K., et Soumanou, M. M. (2017).** Formulation de biscuits a base de farine de ble enrichie a la farine de patate douce a chair orange. *Afrique Science*, 13(6), 405-416.

- **Vriezinga, S. L., Schweizer, J. J., Koning, F., et Mearin, M. L. (2015).** Coeliac disease and gluten-related disorders in childhood. *Nature Reviews Gastroenterology & Hepatology*, 12(9), 527-536.
- **Wagner, M., Della Valle, G., Abecassis, J. O. E. L., Buleon, A., Lourdin, D., Morel, M. H., et Cuq, B. (2009).** 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).
- **Warda, B. A., Djilali, B., Said, D., Ahmed, B., et Zineb, B. (2023).** Physicochemical and Rheological Properties of “Bunium bulbocastanum” Earth-nut Flour. *Agricultural Science Digest*, 43(6), 829-833.
- **Walker, V. (2010).** Impact de l'inoculation de micro-organismes phytobénéfiques sur le métabolisme secondaire de *Zea mays L* (Doctoral dissertation, Université Claude Bernard-Lyon I).
- **Wendling, M. (2020).** Gare aux substances antinutritionnelles présentes dans les légumineuses. *Agri Hebdo*, (28), 16.
- **Wrigley, C. W., Békés, F., et Bushuk, W. (2006).** Gluten: A balance of gliadin and glutenin. *Gliadin and glutenin: The unique balance of wheat quality*, 3-32.
- **Yefsah-Idres, A., Benrima, A., Hammouchi, K., et Bennazoug, Y. (2019).** Essai de valorisation de la datte Mech-degla par sa substitution au sucre blanc dans la formulation d'un biscuit. *Revue Agrobiologia*, 9(2), 1543-1559.
- **Zerroudi, D., et Kadi, D. (2021).** Effet de l'huile essentielle d'eucalyptus (*Eucalyptus citrodoria*) sur la longévité des adultes mâles et femelles de la bruche de la fève (*Bruchus rufimanus*)(*Coleoptera: Bruchidae*) durant la période de diapause (Doctoral dissertation, Université Mouloud Mammeri).
- **Zhou, W., Therdthai, N., et Hui, Y. H. (2014).** Introduction to baking and bakery products. *Bakery products science and technology*, 1-16.
- **Žigmund, P. (2023).** Le rôle des desserts français dans l'offre touristique (Doctoral dissertation, University of Rijeka. Faculty of Tourism and Hospitality Management. Multidisciplinary Areas. Department of foreign languages in business).
- **Zine-Zikara, F., Bouzid, L., et Yekkour, A. (2015).** Le pois chiche en Algérie: situation, potentialités et perspectives. *Recherche Agronomique*, 27, 35-47.
- **Zongo, R. T., Kiema, A., Ouattara, S., Zongo, A., et Bougouma, V. M. (2024).** Etat des lieux des pratiques de stockage et de conservation du maïs après la récolte et leur impact sur

la qualité du produit au Burkina Faso. *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, 18(2), 463-475.

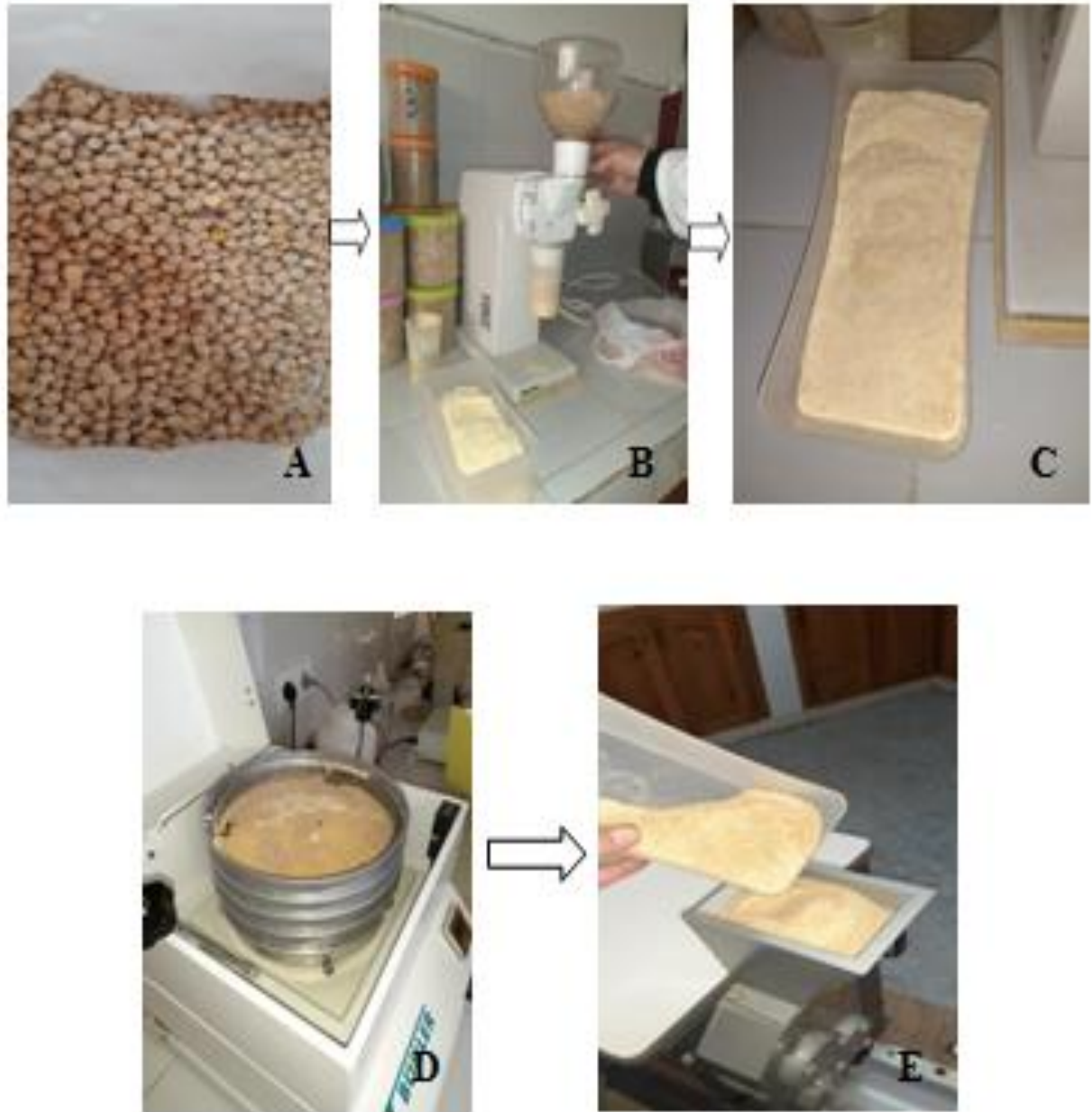
- **Zriouel, A. (2021).** Évaluation de la qualité nutritionnelle et repérage des troubles du comportement alimentaire chez des enfants et adolescents cœliaques sous régime sans gluten. These Doctorate, Rabat, MAROC.



Annexes

Annexe 1

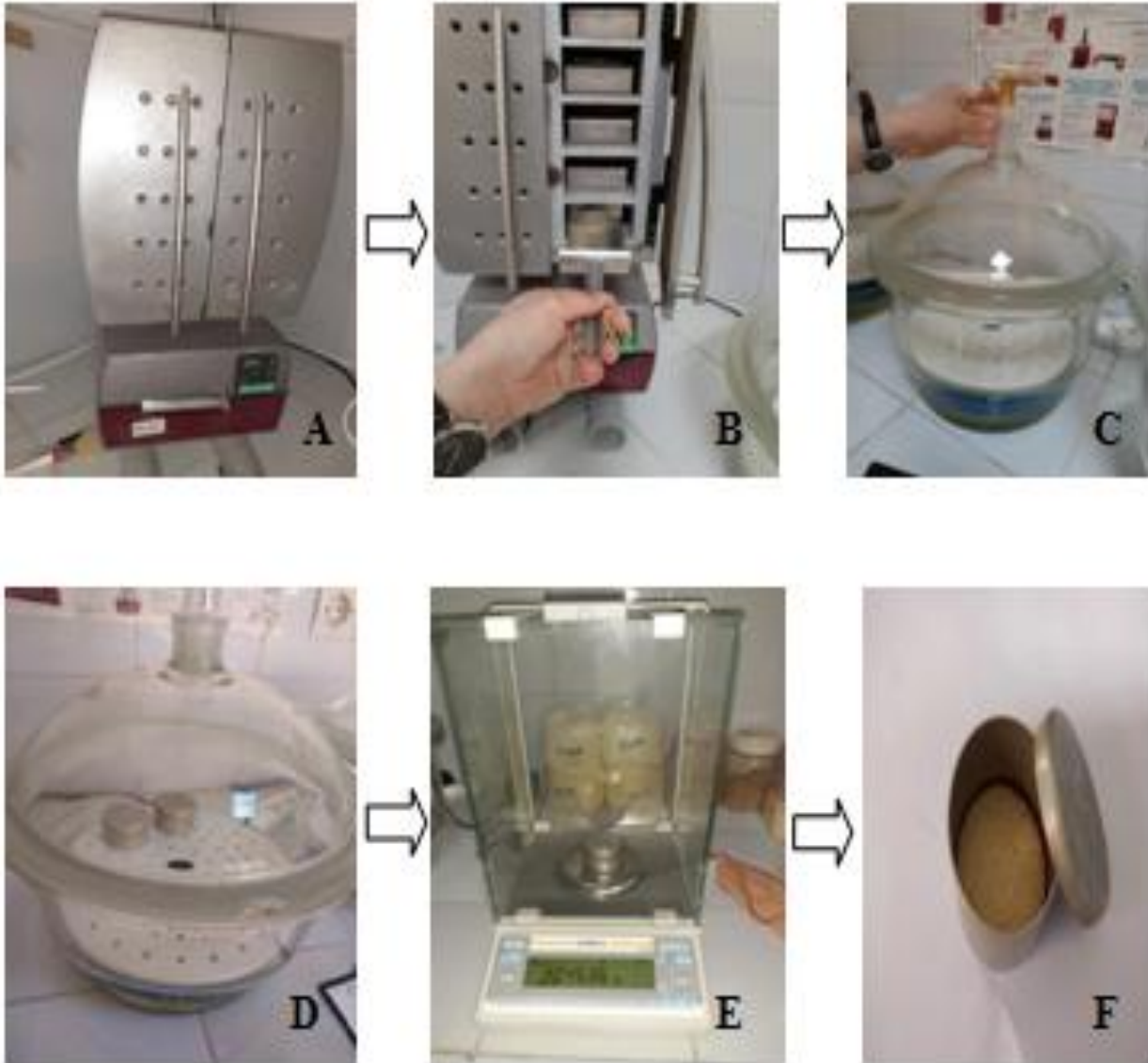
Préparation des légumineuses



(A) Pois chiche, (B) Broyage avec un broyeur type « Laboratory Mill 3303 »,
(C) Farine, (D) Tamisage, (E) Re-broyage avec un moulin d'essai.

Annexe 2

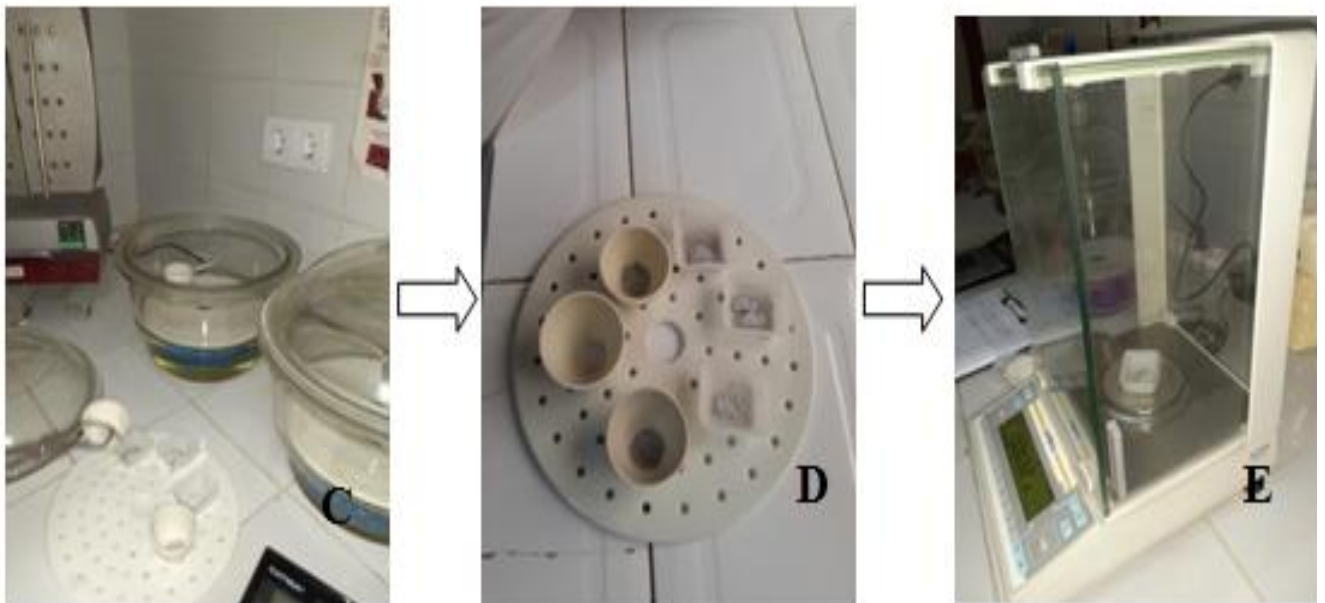
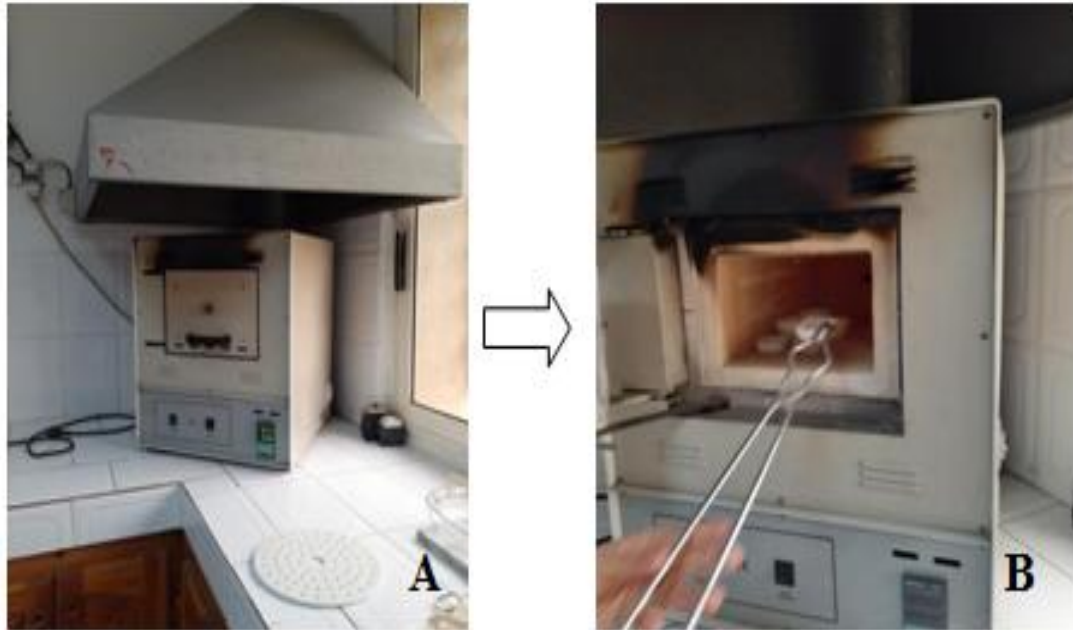
Etapes d'analyse d'humidité



(A) Etuve, (B) Placement de la prise d'essai, (C) : Dessiccateur, (D) Refroidissement, (E) Pesage, (F) Prise d'essai après étuvage.

Annexe 3

Analyse de taux de cendre.



(A) Autoclave, (B) Placement des nacelles dans l'autoclave 4h a 540°C,
(C) Refroidissement 20 à 30 min), (D) Cendres, (E) Pesage.

Annexe 4

Tamiseur électrique et tamis.

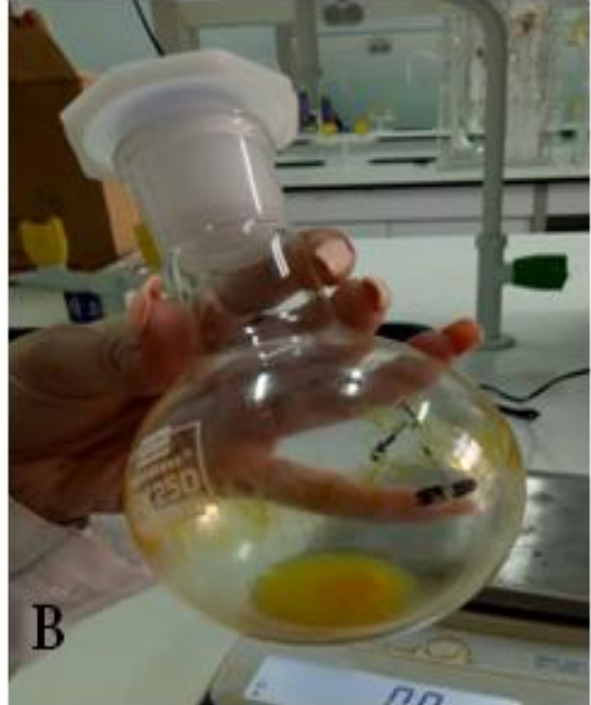


Annexe 5

Dosage des lipides totaux



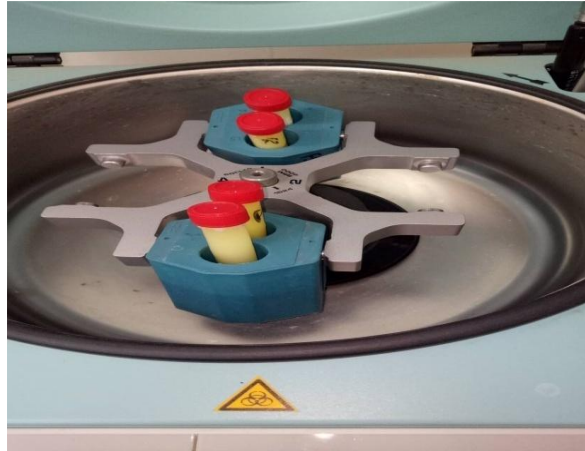
A) Appareil Soxlet



B) Matière grasse

Annexe 6

Acidité grasse



Tube de centrifugeuse

Centrifugeuse.



Titration.

Annexe 7

Protéines totales



Distillateur



Distillation.



Titration.

Annexe 8

Teneur en lipides



Appareil soxhlet (**Original**).

Annexe 9: Fiche de profil sensoriel du produit élaboré

Age :

Nom et prénom :

Sexe : homme femme

Comment trouvez- vous ce produit ?

Couleur :

1	2	3
---	---	---

Mauvaise

Acceptable

Excellente

Odeur :

1	2	3
---	---	---

Désagréable

Prononcée

Agréable

Goût :

1	2	3
---	---	---

Arrière-goût

Moyen

Excellent

Texture :

1	2	3
---	---	---

Dure

Acceptable

Croustillante

Forme :

1	2	3
---	---	---

Déformée

Acceptable

Arrondie

Evaluation de la qualité organoleptique des produits élaborés.

Annexe 10

Résultats de l'évaluation de la qualité organoleptique des cookies.

Dégustateurs	Couleur	Odeur	Goût	Texture	Forme
1	2	2	2	3	3
2	2	2	2	3	2
3	2	2	2	3	3
4	2	2	1	3	3
5	2	2	2	3	3
6	2	1	2	2	2
7	3	2	1	3	3
8	2	1	2	2	2
9	2	2	1	2	3
10	3	2	2	3	3
11	3	2	2	2	3
12	2	2	2	2	3
13	2	2	2	2	3
14	2	2	2	3	3
15	3	2	1	3	2
16	2	2	1	3	2
17	3	2	3	3	3
18	3	1	3	3	3
19	3	2	2	3	3
20	3	2	3	3	2



Résumé

Etude de la composition biochimique et valorisation de certaines variétés de céréales et de légumineuses locales

Résumé

Ce travail consiste à l'étude des caractéristiques physico-chimiques et nutritionnelles de quelques légumineuses (fève, féverole, pois chiche et lentille) cultivées en Algérie et leurs valorisation pour la confection de produits finis sans gluten (Pâtes, Couscous, Rechta et Biscuits) afin de diversifier et d'améliorer la situation alimentaire de malades cœliaques Algériens. Le choix de la matière première revient d'une part au fait que les légumineuses sont exemptes de gluten et à leur richesse nutritionnelle, surtout en protéines (22,35 % pour le pois chiche, 30,25 % pour la fève, 28,62 % pour la féverole et 25,44 % pour la lentille) et d'autre part à leur disponibilité et à leur faible coût. Les analyses physico-chimiques effectuées montrent que les matières premières et les produits finis élaborés sont de bonne qualité, ainsi les cookies, les pâtes alimentaires, les deux types de couscous et le rechta présentent des teneurs élevées en amidons (46,05 %, 40,10 %, 42,31 %, 43,50% et 51,90 %) et en protéines (30,25 %, 25,44 %, 22,06 %, 22,12 % et 22,18%) respectivement. En effet, l'analyse sensorielle réalisée a montré qu'ils sont bien appréciés par les dégustateurs et possèdent de bonnes caractéristiques organoleptiques (gout, couleur, odeur..).

Mots clés: Légumineuses locales, Composition physico chimiques, Qualité nutritionnelle, Valorisation, Maladie cœliaque.

Study of the biochemical composition and valorization of certain varieties of local cereals and legumes

Abstract

The aim of this work is to study the physico-chemical and nutritional characteristics of a number of legumes (Broad Bean, Faba Bean, Chickpea and Lentil) grown in Algeria, and their use in the manufacture of gluten-free finished products (Pasta, Couscous and Biscuits) to diversify and improve the dietary situation of Algerian celiac patients. The choice of raw material was based partly on the fact that legumes are gluten-free and nutritionally rich, especially in protein (22.35% for chickpea, 30.25% for broad bean, 28.62% for faba bean and 25.44% for lentil), and partly on their availability and low cost. The physico-chemical analyses carried out show that the raw materials and finished products produced are of good quality: cookies, pasta, the two types of couscous, and rechta have high starch (46,05%, 40,10%, 42,31%, 43,50%, and 55,90%) and protein (30,25%, 25,44%, 22,06%, 22,12%, 22,18%) contents respectively. The sensory analysis carried out showed that they are well appreciated by tasters and possess good organoleptic characteristics (taste, color, odor..).

Key words: Local legumes, Physico-chemical composition, Nutritional quality, Valorization, Celiac disease.

دراسة التركيب الكيميائي الحيوي وتثمين بعض أصناف الحبوب والبقوليات المحلية

ملخص

يتكون هذا العمل من دراسة الخصائص الفيزيائية والكيميائية والتغذوية لعدد من البقوليات (الفاصوليا العريضة والفاصوليا والفول الفابي والحمص والعدس) المزروعة في الجزائر واستخدامها في تصنيع المنتجات النهائية الخالية من الغلوتين (المعكرونة والكسكس والبسكويت) من أجل تنويع وتحسين الوضع الغذائي لمرضى الاضطرابات الهضمية الجزائريين. وقد استند اختيار المواد الخام جزئياً على حقيقة أن البقوليات خالية من الغلوتين وغنية من الناحية الغذائية، خاصةً في البروتين (22.35 % للحمص، 30.25 % للفاصوليا العريضة، 28.62 % للفاصوليا و 25.44 % للعدس)، وجزئياً على توافرها وانخفاض تكلفتها. وتظهر التحاليل الفيزيائية الكيميائية التي أجريت أن المواد الخام والمنتجات النهائية المنتجة ذات نوعية جيدة، حيث أظهر الكعك والمعكرونة ونوعي الكسكس و الرشته مستويات عالية من النشا (46,05 % و 40,10 % و 42,31 % و 43,50 % و 55,90 %) والبروتين (30,25 % و 25,44 % و 22,06 % و 22,12 % و 22,18 %) على التوالي. وأظهر التحليل الحسي أنها كانت محل تقدير جيد من قبل المتذوقين ولها خصائص حسية جيدة (الطعم واللون والرائحة وغيرها).

الكلمات المفتاحية: البقوليات المحلية، التركيب الفيزيائي والكيميائي، الجودة الغذائية، التثمين، مرض السيلياك.