

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

UNIVERSITE HADJ LAKHDAR - BATNA 1
INSTITUT DES SCIENCES VETERINAIRES ET DES SCIENCES AGRONOMIQUES
DEPARTEMENT DE TECHNOLOGIE ALIMENTAIRE
LABORATOIRE SCIENCES DES ALIMENTS



N°...../ISVSA/TA/2020

THESE

DE DOCTORAT 3^{ème} cycle LMD

SPECIALITE : Sciences des aliments

Présentéepar : Menasra Amina

**Etude de la formulation et des traitements
technologiques des biscuits enrichis**

Jury :

Présidente :	Zitouni Bariza	Professeur	Université de Batna 1
Rapporteur :	Fahloul Djamel	Professeur	Université de Batna 1
Examinatrice :	Hambaba Leila	Professeur	Université de Batna 2
Examineur :	Madani Hakim	Professeur	Université de Batna 2

Année Universitaire : 2019-2020

*“Le courage ce n'est pas
d'avoir la force de
continuer,
c'est de continuer quand
vous n'avez pas la force.”*

Theodore Roosevelt

Dédicace

Je dédie ce travail à mes chers parents, surtout ma Mère

*Pour tous ses sacrifices,
ses encouragements et à qui,
cette thèse revient en premier*

A mon cher époux

*pour tout ce que tu représentes pour moi,
ton soutien, ta présence,
tout ce que tu m'apportes au quotidien.*

A mon petit ange, mon enfant Mouad.

A mes frères et soeurs et leurs enfants

A ma belle famille

A toute ma famille

A toutes mes amies.

A toute l'équipe du laboratoire

Sciences des Aliments.

A tous ceux qui me sont chers.

Menasra Amina

Remerciement

Je tiens à remercier en premier lieu, Dieu tout puissant pour la volonté, la santé et le courage qu'il m'a donné pour poursuivre ma recherche ; Je remercie Mr. FAHLOUL Djamel pour son grand soutien tout au long de la préparation de ma thèse. Je tiens à lui exprimer ma vive reconnaissance pour sa confiance, sa disponibilité, son dynamisme et son enthousiasme ;

Je tiens à remercier :

Professeur Zitouni Bariza de l'université de Batna 1, pour m'avoir fait l'honneur de juger ce travail et d'avoir accepté de présider ce jury.

Professeur Hambaba Leila de l'université de Batna 2, de m'avoir fait l'honneur d'examiner ce travail.

Professeur Madani Hakim de l'université de Batna 2, d'avoir accepté de participer au jury en tant que examinateur.

Je remercie Mr. Mustapha KHALI, le directeur de Centre Technique des Industries Agroalimentaire à Boumerdes (CTIAA) pour m'avoir permis de réaliser une partie de mon étude expérimentale.

Je remercie M^{me}. Chafia Abdennour, la directrice du laboratoire de Catalyse à Constantine pour m'avoir permis de faire quelques essais.

Je remercie Mr. Djerah Abdelghani, de l'université de Batna 1, pour son aide à l'identification des matières végétales.

Je remercie vivement Mr. Haddad Djamel de l'université de Batna 2, pour son aide à la réalisation de l'analyse statistique.

Je tiens à exprimer ma gratitude à M^{me}. Ferreira Isabel, Professeur à l'université de Porto de m'avoir accueillie dans son laboratoire. Ses conseils et son soutien ont contribué à la réalisation de cette thèse.

Enfin, je remercie tous ceux qui m'ont aidé, soutenu, encouragé et motivé.

Résumé

Le but de ce travail est de préparer des biscuits enrichis par 10, 20 et 30% des différentes poudres (des glands de chêne naturels et traités et des graines de chardon marie). Aussi, d'étudier l'effet des certains traitements technologiques (pétrissage et cuisson) sur la qualité des biscuits préparés. Les résultats des analyses physico-chimiques montrent que la valeur nutritionnelle des biscuits a été améliorée par l'addition des poudres d'enrichissement (taux élevé des polyphénols (198,5-215,5 mg EAG/100g) dans les biscuits enrichis en poudre des glands chêne naturels, et grande teneur en cendres (2,33-3,89%), en protéines (5,73-6,18%) et en fibres (0,88-1,15%) dans les biscuits enrichis en poudre des graines de chardon marie. La teneur de gluten a diminuée dans tous les biscuits enrichis. Toutefois, l'enrichissement des biscuits affecte leurs propriétés organoleptiques (couleur, texture, apparence et gout). Par contre, les biscuits enrichis en 20% de poudre de chardon marie sont les plus préférés par les dégustateurs. Le pétrissage pendant 15 minutes a produit des biscuits courts et épais. Les biscuits cuits au four électrique contiennent des teneurs d'hydroxyméthyle furfural (HMF) supérieures à ceux cuits au microonde. En plus, la cuisson au microonde maintient la valeur nutritionnelle (protéines, fibres et polyphénols) des biscuits enrichis mais affecte son apparence. Enfin, les poudres des glands de chêne et de chardon marie pourraient être utilisées comme des enrichissements naturels des produits de boulangerie sans gluten.

Mots-clés : glands de chêne, graines de chardon marie, biscuits, enrichissement, pétrissage, cuisson, qualité.

Abstract

The aim of this work is to prepare enriched biscuits with 10, 20 and 30% of different powders (natural and treated oak acorns and seeds of milk thistle). Also, to study the effect of certain technological treatments (kneading and cooking) on the quality of prepared biscuits. The results of physicochemical analyzes show that nutritional value of biscuits was improved by enrichment powders (high polyphenols content (198,5-215,5 mg EAG/100g) in enriched biscuits with natural oak acorn powder, and high ash (2,33-3,89%), proteins (5,73-6,18%) and fibers contents (0,88-1,15%) in improved biscuits with milk thistle seeds powder. Gluten content has been reduced in all enriched biscuits. However, the enrichment of biscuits affects their organoleptic properties (color, texture, appearance and taste). On the other hand, enriched biscuits with 20% of milk thistle powder are the most preferred by the tasters. Kneading for 15 minutes produces a short and thick biscuits. Baked biscuits in electric oven contain higher levels of furfural hydroxymethyl (HMF) than those baked in microwave. In addition, microwave cooking maintains the nutritional value (proteins, fibers and polyphenols) of enriched biscuits but affects its appearance. Finally, oak acorn and milk thistle powders could be used as natural enrichments for gluten-free bakery products.

Keywords: oak acorns, milk thistle seeds, biscuits, enrichment, kneading, cooking, quality.

الملخص

الهدف من هذا العمل هو تحضير البسكويت المثرى بـ 10 و 20 و 30% من المساحيق المختلفة (البلوط الطبيعي والمعالج وبذور الخرفيش). أيضا دراسة تأثير بعض المعالجات التكنولوجية (العجن والطبخ) على جودة البسكويت المعد. تظهر نتائج التحليلات الفيزيوكيميائية أن القيمة الغذائية للبسكويت قد تحسنت بإضافة مساحيق الإثراء (نسبة عالية من البوليفينول (198,5-215,5 ملغ/100 غ) في البسكويت المثرى بمسحوق البلوط الطبيعي ومستويات عالية من المعادن (2,33-3,89%) والبروتين (5,73-6,18%) والألياف (0,15%-0,88%) في البسكويت المحسن بمسحوق بذور الخرفيش. لقد انخفض محتوى الغلوتين في جميع أنواع البسكويت ومع ذلك، فإن إثراء البسكويت يؤثر على خصائصه الحسية (اللون، المظهر والذوق). من ناحية أخرى البسكويت المثرى بـ 20% من مسحوق بذور الخرفيش هو الأكثر تفضيلا من قبل المتذوقين. العجن لمدة 15 دقيقة ينتج بسكويت قصير وسميك. تحتوي البسكويات المطهوه في الفرن الكهربائي على مستويات أعلى من هيدروكسي ميثيل الفيريرال بالمقارنة مع تلك المطهوه في الميكروويف بالإضافة إلى ذلك، يحافظ الطبخ بالمايكروويف على القيمة الغذائية للبسكويت المثرى (البروتين، الألياف، و البوليفينول) ولكن يؤثر على مظهره. أخيرًا، يمكن استخدام مساحيق البلوط و بذور الخرفيش كإثراء طبيعي لمنتجات المخازن الخالية من الغلوتين.

الكلمات المفتاحية: البلوط، بذور الخرفيش، البسكويت، الإثراء، العجن، الطبخ، الجودة

Publications

Liste des publications et communications liées à ce travail

Publications internationales

- **Menasra Amina** and Fahloul Djamel. 2019. Quality characteristics of biscuit prepared from wheat and milk thistle seeds (*Silybum Marianum* (L) Gaertn) flour. *Carpathian journal of Food Science and Technology*, 19(4) :5-19. <https://doi.org/10.34302/crpjfst/2019.11.4.1>.
- **Menasra Amina** and Fahloul Djamel. 2018. Effect of fermentation and germination treatments on physicochemical and sensory properties of enriched biscuits with acorn flour. *Annals. Food Sciences and Technology*, 19(4) : 667-674.
- **Menasra Amina**, Fahloul Djamel and Haddad Djamel. 2018. Influence of fermentation and germination treatments of physicochemical and functional properties of acorn flour. *Bulgarian Journal of Agricultural Sciences*, 24(4) : 719-726.

Communications internationales

- **Menasra Amina**, Fahloul Djamel, Lahbari Miloud, Warda Abd El Karim and Nor El Houda Benaldjiya. 2019. Drying characteristics and kinetic modelling of rosemary (*Rosmarinus officinalis* L.) leaves. Organisé par Faculté des Sciences et Techniques. Université de Cady Ayyad, Marrakech, Morocco.
- **Menasra Amina**, Fahloul Djamel, Lahbari Miloud and Kahoul Mohamed El Amine. 2018. Drying effect on quality, water content, mass diffusivity and activation energy of strawberry. 6^{ème} Séminaire Maghrébin sur les Sciences et les Technologies du Séchage (SMST'S 2018). Organisé par Hotel Diar El Barbar, Matmata, Tunisie.
- **Menasra Amina** et Fahloul Djamel. 2015. Contribution au séchage convectif des glands de chêne vert d'Aurès (*Quercus ilex*). 5^{ème} Séminaire Maghrébin sur les Sciences et les Technologies du Séchage (SMST'S 2015 ». Université Kasdi Merbah, Ouargla, Algérie.
- **Menasra Amina**, Fahloul Djamel, Alloui Ourida et Maiza Kenza. 2015. La sécurité des produits alimentaires et la protection des consommateurs en Algérie : cas des biscuits. 2^{ème} Congrès International de la Société Algérienne de Nutrition « 2 CIS-AN 2015 ». Organisé par le Sheraton, Club des Pins, Alger, Algérie.

- **Menasra Amina** et Fahloul Djamel. 2014. Conformité de l'étiquetage des produits alimentaires locaux et importés en Algérie. Séminaire International sur les Sciences Alimentaires « SISA ». Institut de la Nutrition, de l'Alimentation et des Technologies Agro-alimentaires (INATAA). Université de Constantine 01 (UC1), Algérie.

Communications nationales

- **Menasra Amina** and Fahloul Djamel. 2017. Effect of roasting temperatures on the quality of Aleppo pine kernels flour (*Pinus halepensis*). 1^{ère} Journée Nationale sur la Nutrition et la Sécurité Alimentaire « JNNSA 2017 ». Organisé par l'université de Hadj Lakhdar Batna 01 (UHB1), Algérie.
- **Menasra Amina**, Fahloul Djamel et Zitouni Bariza. 2015. L'utilisation de l'étuve ventilée (*LaTechEtuve*) pour le séchage convectif de chêne vert. 2^{ème} Journée d'Etude des Jeunes Scientifiques (Doctorants et Magistrants) « 2 JEJS 15 ». Organisé par l'université de Hadj Lakhdar Batna 01 (UHB1), Algérie.

Table des matières

Table des matières

Dédicace	
Remerciement	
Liste des abréviations	
Liste des tableaux	
Liste des figures	
Introduction	1

Etude bibliographique

Chapitre 1 : Biscuits

1. Histoire d'apparition du biscuit.....	3
2. Description du terme « biscuit »	3
3. Classification des biscuits.....	3
4. Rôle des ingrédients de biscuits.....	5
4.1.Rôle des principaux ingrédients de biscuit.....	5
4.2.Rôle des ingrédients facultatifs de biscuit	8
5. Apport nutritionnel des biscuits.....	10
6. Critères de qualité des biscuits.....	12
7. Filière des biscuits en Algérie.....	13

Chapitre 2 : Technologie des biscuits

1. Technologie des biscuits.....	14
2. Etapes de fabrication des biscuits.....	14
2.1.Mixage.....	14
2.2.Pétrissage.....	15
2.3.Fermentation.....	16
2.4.Laminage.....	17
2.5.Découpage (moulage).....	17
2.6.Cuisson.....	17
2.7.Refroidissement de biscuit.....	19

2.8. Conditionnement et conservation de biscuit.....	19
3. Développement de la technologie des produits céréaliers.....	19

Chapitre 3 : Enrichissement des aliments

1. Histoire d'enrichissement des aliments.....	21
2. Définition des aliments enrichis.....	21
3. Types des aliments enrichis.....	21
3.1. Produits laitiers.....	21
3.2. Produits à base des fruits.....	22
3.3. Produits à base de gras.....	23
3.4. Produits à base des légumes.....	23
3.5. Produits céréaliers.....	24
3.5.1. Pain.....	24
3.5.2. Biscuits.....	25
3.5.2.1. Biscuits enrichis.....	25
3.5.2.1.1. Biscuits enrichis en protéines.....	26
3.5.2.1.2. Biscuits allégés en sucres.....	28
3.5.2.1.3. Biscuits enrichis en fibres.....	28
3.5.2.1.4. Biscuits allégés en gras.....	30
3.5.2.1.5. Biscuits enrichis en vitamines.....	30
3.5.2.1.6. Biscuits enrichis en minéraux.....	31
3.5.2.1.7. Biscuits enrichis en polyphénols.....	32
3.5.2.1.8. Biscuits enrichis en antioxydants.....	33

Etude expérimentale

Chapitre 1 : Matériel et méthodes

1. Matériel.....	35
1.1. Matières végétales.....	36
1.1.1. Les glands de chêne vert (<i>Quercus ilex</i> L.).....	36
1.1.2. Les graines de chardon marie (<i>Silybum marianum</i> (L) Gaertn).....	37
1.2. Matières premières.....	37
1.3. Appareillages et matériels.....	38

2. Méthodes	39
2.1. Détermination des propriétés morphologiques des matières végétales.....	40
2.2. Traitements des glands de chêne par la fermentation et la germination.....	40
2.3. Préparation des poudres d'enrichissement.....	41
2.3.1. Poudre des glands de chêne naturels et traités.....	41
2.3.2. Poudre des graines de chardon marie.....	42
2.4. Détermination des propriétés fonctionnelles des poudres	42
2.4.1. Densité apparente (DA).....	42
2.4.2. Capacité d'absorption d'eau (CAE) et d'huile (CAH).....	43
2.4.3. Capacité émulsifiante (CE).....	43
2.4.4. Capacité de gonflement (CG).....	44
2.4.5. Capacité moussante (CM).....	44
2.5. Caractérisations physicochimiques des poudres	44
2.5.1. Détermination de la teneur en eau.....	44
2.5.2. Détermination de la teneur en cendres.....	45
2.5.3. pH	46
2.5.4. Dosage de l'amidon.....	46
2.5.5. Dosage du gluten.....	48
2.5.6. Détermination de la teneur en protéines.....	49
2.5.7. Dosage des fibres.....	50
2.5.8. Détermination de la teneur en polyphénols totaux.....	52
2.5.9. Couleur.....	52
2.6. Préparation des biscuits enrichis.....	53
2.6.1. Caractérisation physicochimique des biscuits	54
2.6.2. Dimensions physiques des biscuits.....	54
2.6.3. Analyse sensorielle.....	55
2.6.4. Analyse des composants principaux (ACP).....	57
2.7. Traitements technologiques des biscuits.....	57
2.7.1. Effet de pétrissage.....	58
2.7.1.1. Valeur nutritionnelle des biscuits.....	58
2.7.1.1.1. Optimisation par plan d'expériences de la qualité nutritive des biscuits.....	58
2.7.1.1.2. Modélisation de la réponse.....	59

2.7.1.1.2.1.Niveaux des variables.....	59
2.7.1.1.3. Détermination des variables réelles.....	60
2.7.1.1.3.1.Durée de pétrissage.....	60
2.7.1.1.3.2.Pourcentage des poudres d'enrichissement.....	60
2.7.1.2.Dimensions physiques des biscuits.....	61
2.7.2. Effet du mode de cuisson.....	61
2.7.2.1. Propriétés physicochimiques des biscuits.....	61
2.7.2.2.Quantification d'hydroxyméthyle furfural (HMF) et de furfural (F) par l'HPLC/détection de la matrice de diodes.....	61
2.7.2.2.1. Procédures d'extraction.....	61
2.7.2.2.2. Méthodologie HPLC.....	62
2.7.2.3.Modélisation des cinétiques de changement de la clarté (L*) des biscuits au cours de cuisson.....	62
2.8.Etude statistique.....	64

Chapitre 2 : Résultats et discussions

Partie 1 :Formulation et traitements technologiques des biscuits enrichis en poudres des glands de chêne naturels et traités.....	65
--	----

1. Propriétés morphologiques des glands de chêne (<i>Quercus ilex</i> L.).....	66
2. Caractérisation des poudres des glands de chêne naturel et traité.....	67
3. Caractérisation des biscuits enrichis en poudre des glands de chêne naturels et traités.....	75
4. Traitements technologiques des biscuits enrichis en poudres de chêne naturels et traité.....	91

Partie 2 : Formulation et traitements technologiques des biscuits enrichis en poudre des graines de chardon marie.....	113
---	-----

1. Propriétés morphologiques des graines de chardon marie(<i>Silybum marianum</i> L.).....	114
2. Caractérisation de la poudre des graines de chardon marie.....	114
3. Caractérisation des biscuits enrichis en poudre de chardon marie.....	118
4. Traitements technologiques des biscuits enrichis en poudre de chardon marie	129

Conclusion	140
Synthèse des résultats	143
Références bibliographiques	
Annexes	

Liste des abréviations

Liste des abréviations

- A (%) : amidon ;
- AACC : association américaine des chimistes des céréales ;
- ACP : méthode d'analyse en composants principaux ;
- AFNOR : association française de normalisation ;
- AFTER : tradition alimentaire d'africaine revisitée par la recherche ;
- AOAC : association de chimiste analytique ;
- BCF : biscuit enrichi par la poudre des glands de chêne fermentés ;
- BCG : biscuit enrichi par la poudre des glands de chêne germés ;
- BCM : biscuit enrichi par la poudre de chardon marie ;
- BCN : biscuit enrichi par la poudre des glands de chêne naturels ;
- BT : biscuit témoin ;
- C (%) : cendres ;
- c^* : chroma (intensité) ;
- CAE (g/g): capacité d'absorption d'eau ;
- CAH (g/g): capacité d'absorption d'huile ;
- CCD : central composite design ;
- CE (%) : capacité émulsifiante ;
- CG (%) : capacité de gonflement ;
- CM (%) : capacité de moussage ;
- d (g/cm³) : densité volumique de masse (masse volumique) ;
- D (mm) : diamètre ;
- DA (g/cm³) : densité apparente ;
- DCPIP : 2,6-dichlorophénol indophénol ;
- DO : densité optique ;
- E (mm) : épaisseur ;
- EDTA : éthylène diamine tétra acétique ;
- F (mg/Kg MS.) : furfural ;
- F (%) : fibres ;
- FB : farine de blé ;
- H (%) : humidité ;
- h° : angle de teinte ;

HMF (mg/Kg MS.) : hydroxyméthyle furfural ;

IB : indice de brunissement ;

IBL : indice de blanchiment ;

L* : clarté ;

m (g) : masse ;

MO (%) : matière organique ;

MS (%) : matière sèche ;

MSR : méthodologie des surfaces de réponse ;

N: normalité ;

CIE : commission internationale de l'éclairage ;

G (%) : gluten ;

P (%) : protéines ;

Poly (mg EAG/100g) : polyphénols ;

PP (%) : perte de poids ;

PCN : poudre des glands de chêne naturels ;

PCF : poudre des glands de chêne fermentés ;

PCG : poudre des glands de chêne naturels ;

PCM : poudre des graines de chardon marie ;

RP : ratio de propagation ;

V (cm³) : volume ;

ΔE : différence totale de la couleur ;

$[\alpha]$: pouvoir rotatoire spécifique.

Liste des tableaux

Liste des tableaux

Tableau 1 : Exemples des produits de substitution utilisés dans les produits céréaliers.....	10
Tableau 2 : Valeur nutritionnelle moyenne de quelques biscuits.....	11
Tableau 3 : Contribution des biscuits aux apports nutritionnels.....	11
Tableau 4 : Enrichissement des biscuits en protéines.....	27
Tableau 5 : Biscuits allégés en sucres.....	28
Tableau 6 : Enrichissement des biscuits en fibres.....	29
Tableau 7 : Biscuits allégés en gras.....	30
Tableau 8 : Enrichissement des biscuits en vitamines.....	31
Tableau 9 : Enrichissement des biscuits en minéraux.....	32
Tableau 10 : Enrichissement des biscuits en polyphénols.....	33
Tableau 11 : Enrichissement des biscuits en antioxydants.....	34
Tableau 12 : Taux d'addition des poudres d'enrichissement au biscuit	54
Tableau 13 : Matrice d'expérience du plan composite centré à deux facteurs.....	60
Tableau 14 : Variables et leurs niveaux pour le plan central composite.....	60
Tableau 15 : Facteurs, niveaux et valeurs fondamentales utilisés dans le modèle composite central (CCD) pour les biscuits enrichis et traités par différentes durées de pétrissage.....	61
Tableau 16: Propriétés morphologiques des glands de chêne (<i>Quercus ilex</i> L.).....	66
Tableau 17 : Propriétés physicochimiques de la farine de blé et des poudres des glands de chêne préparées.....	68
Tableau 18 : Indices de la couleur de la farine de blé et des poudres des glands de chêne préparées.....	71
Tableau 19 : Propriétés physicochimiques de biscuit témoin et des biscuits enrichis en poudre de chêne.....	76
Tableau 20 : Effet des traitements de fermentation et de germination sur les propriétés physicochimiques des biscuits enrichis en poudre de chêne.....	77
Tableau 21 : Propriétés physiques de biscuit témoin et des biscuits enrichis en poudre des glands de chêne naturels.....	80
Tableau 22 : Indices de la couleur des biscuits préparés.....	82
Tableau 23 : Données du test de classement par rang d'acceptation de biscuit témoin et des biscuits enrichis en poudres de chêne.....	84
Tableau 24 : La différence entre les paires des biscuits préparés.....	84
Tableau 25 : Propriétés sensorielles de biscuit témoin et des biscuits enrichis en poudres de chêne.....	85
Tableau 26: Paramètres d'analyse de la variance (ANOVA) du test de traçage pour la formule des surfaces de réponse des biscuits enrichis en différents pourcentages des poudres des glands de chêne naturels et pétris pendant différentes durées.....	92

Tableau 27:Paramètres d'analyse de la variance (ANOVA) du test de traçage pour la formule des surfaces de réponse des biscuits enrichis en différents pourcentages des poudres des glands de chêne fermentés et pétris pendant différentes durées.....	92
Tableau 28:Paramètres d'analyse de la variance (ANOVA) du test de traçage pour la formule des surfaces de réponse des biscuits enrichis en différents pourcentages des poudres des glands de chêne germés et pétris pendant différentes durées.....	93
Tableau 29 : Optimisation de procédé de préparation des biscuits enrichis en poudre des glands de chêne naturels.....	97
Tableau 30 : Optimisation de procédé de préparation des biscuits enrichis en poudre des glands de chêne fermentés	98
Tableau 31 : Optimisation de procédé de préparation des biscuits enrichis en poudre des glands de chêne germés	100
Tableau 32 : Effet de la durée de pétrissage sur les dimensions physiques de biscuit témoin et des biscuits enrichis en poudre des glands de chêne naturels.....	102
Tableau 33 : Effet de la durée de pétrissage sur les dimensions physiques des biscuits enrichis en poudre des glands de chêne fermentés et germés.....	103
Tableau 34 : Effet de cuisson au four électrique (FE) et au microonde (MO) sur les propriétés physicochimiques de biscuit témoin et des biscuits enrichis en poudre de des glands de chêne naturels.....	104
Tableau 35 : Effet de cuisson au four électrique (FE) et au microonde (MO) sur les propriétés physicochimiques des biscuits enrichis en poudre des glands de chêne traités par la fermentation (BCF) et la germination (BCG).....	105
Tableau 36 :Effet de mode cuisson sur la formation de furfural (F) et d'hydroxyméthyle furfural (HMF) dans les biscuits préparés.....	107
Tableau 37 : Modélisation de la variation de la clarté (L*) des biscuits cuits au four électrique (FE) et au microonde (MO).....	112
Tableau 38: Propriétés morphologiques des graines de chardon marie.....	114
Tableau 39 : Propriétés physicochimiques de la farine de blé et de la poudre de chardon marie.....	115
Tableau 40 : Indices de la couleur de la farine de blé et de la poudre de chardon marie.....	116
Tableau 41 : Propriétés physicochimiques de biscuit témoin et des biscuits enrichis en poudre de chardon marie.....	119
Tableau 42 : Propriétés physiques de biscuit témoin et des biscuits enrichis en poudre de chardon marie.....	120
Tableau 43 : Indices de la couleur de biscuit témoin et des biscuits enrichis en poudre de chardon marie.....	121
Tableau 44 : Données du test de classement par rang d'acceptation de biscuit témoin et des biscuits enrichis en poudre de chardon marie.....	123
Tableau 45 : La différence entre les paires des biscuits préparés.....	123
Tableau 46 : Propriétés sensorielles de biscuit témoin et des biscuits enrichis en poudre de chardon marie.....	124
Tableau 47 : Paramètres d'analyse de la variance (ANOVA) pour la formule des surfaces de réponse des biscuits enrichis en différents pourcentages de poudre de chardon marie (BCM) et pétris pendant différentes durées.....	129
Tableau 48 : Optimisation de procédé de préparation des biscuits enrichis en poudre des graines de chardon marie.....	131

Tableau 49 : Effet de la durée de pétrissage sur les dimensions physiques de biscuit témoin et des biscuits enrichis en poudre de chardon marie.....	133
Tableau 50 : Effet de cuisson au four électrique (FE) et au microonde (MO) sur les propriétés physicochimiques de biscuit témoin et des biscuits enrichis en différents pourcentages de poudre de chardon marie.....	134
Tableau 51 : Effet de mode cuisson sur la formation de furfural et d'hydroxyméthyle furfural dans le biscuit témoin et les biscuits enrichis en différents pourcentages de poudre de chardon marie.....	135
Tableau 52 : Modélisation de la variation la clarté (L^*) de biscuit témoin et de biscuit enrichi en 20% de poudre de chardon marie cuits au four électrique (FE) et au microonde (MO).....	139

Liste des figures

Liste des figures

Liste des figures

Figure 1 : Différents types de biscuits en fonction de la teneur en farine, en matières grasses et en sucres.....	4
Figure 2 : Effet de type de la matière grasse sur les caractéristiques farinographies de la pâte de biscuit	7
Figure 3 : Organigramme des étapes de fabrication des biscuits.....	14
Figure 4: Action de pétrissage sur la réorientation des protéines du gluten.....	15
Figure 5: Évolution de la taille et de la forme (de sphérique à polyédrique) des cellules gazeuses dans une pâte au cours de la fermentation.....	16
Figure 6 : Profil de température interne pendant la cuisson de différents produits céréaliers.....	17
Figure 7 : Processus de cuisson d'un biscuit (distribution des phénomènes de cuisson dans le temps et l'espace).....	18
Figure 8 : Opérations unitaires dans la préparation des produits céréaliers de qualité.....	20
Figure 9 : Les cibles d'enrichissement des produits céréaliers.....	24
Figure 10 : Démarche générale et différentes parties de la thèse.....	36
Figure 11 : Glands de chêne (<i>Quercus ilex</i>).....	37
Figure 12 :Graines de chardon marie (<i>Silybum marianum</i>).....	37
Figure 13 : Traitements de fermentation et germination des glands de chêne.....	41
Figure 14 : Glands de chêne germés.....	41
Figure 15 : Poudres des glands de chêne naturels (A), fermentés (B) et germés (C).....	42
Figure 16 : Poudre des graines de chardon marie.....	42
Figure 17 : Échelle faciale à neuf points utilisée pour la catégorisation hédonique des biscuits de témoin et enrichis.....	57
Figure 18 : Propriétés fonctionnelles de la farine de blé et des poudres des glands de chêne naturels et traités.....	73
Figure 19 : Biscuit témoin et biscuits enrichis en différents pourcentages de poudre des glands de chêne naturels et traités.....	83
Figure 20 : Profils sensoriels de biscuit témoin et des biscuits enrichis en poudres des glands de chêne sur 6 descripteurs.....	86
Figure 21: Graphique de la courbe des charges des propriétés physicochimiques et sensorielles (A) et des scores (B) des biscuits préparés.....	88
Figure 24: Surface de réponse de l'effet combiné de pétrissage et de l'enrichissement en poudre des glands de chêne naturels sur la teneur en humidité de biscuit.....	94
Figure 25: Surface de réponse de l'effet combiné de pétrissage et de l'enrichissement en poudre des glands de chêne fermentés sur la teneur en humidité de biscuit.....	95
Figure 26: Surface de réponse de l'effet combiné de pétrissage et de l'enrichissement en poudre des glands de chêne germés sur la teneur en humidité de biscuit.....	96
Figure 27 : Modélisation de changement de la clarté (L^*) de biscuit témoin (A) et des biscuits enrichis en poudre des glands de chêne naturels (B), en poudre de chêne	

fermentés (C) et en poudre de chêne germés (D) cuits au four électrique par le modèle cinétique d'ordre zéro ($L^* = L^*_0 - k \times t$).....	109
Figure 28 : Modélisation de changement de la clarté (L^*) de biscuit témoin (A) et des biscuits enrichis en poudre des glands de chêne naturels (B), en poudre de chêne fermentés (C) et en poudre de chêne germés (d) cuits au microonde par le modèle cinétique d'ordre zéro ($L^* = L^*_0 - k \times t$).....	110
Figure 29 : Biscuit témoin cuit au four électrique (A) et au microonde (B).....	111
Figure 30 : Biscuit enrichi en 20% de poudre des glands de chêne naturels cuit au four électrique (A) et au microonde (B).....	111
Figure 31 : Propriétés fonctionnelles de la farine de blé et de la poudre des graines de chardon marie.....	117
Figure 32 : Biscuit témoin (A) et biscuits enrichis en 10, 20 et 30% de poudre de chardon marie (B, C et D).....	122
Figure 33 : Profils sensoriels de biscuit témoin et des biscuits enrichis en poudre de chardon marie.....	124
Figure 34 : Graphique de la courbe des charges des propriétés physicochimiques et sensorielles (A) et des scores (B) de biscuit témoin et des biscuits enrichis en poudre de chardon marie.....	127
Figure 35: Surface de réponse de l'effet combiné de pétrissage et de l'enrichissement en poudre des graines de chardon marie sur la teneur en humidité de biscuit.....	130
Figure 36 : Modélisation du changement de la clarté (L^*) de biscuit témoin (BT) cuit au four électrique (A) et au microonde (B) par le modèle cinétique d'ordre zéro ($L^* = L^*_0 - k \times t$).....	136
Figure 37 : Modélisation du changement de la clarté (L^*) de biscuit enrichi en 20% de poudre de chardon marie (BCM) cuit au four électrique (A) et au microonde (B) par le modèle cinétique d'ordre zéro ($L^* = L^*_0 - k \times t$).....	137
Figure 38 : Biscuit témoin cuit au four électrique (A) et au microonde (B).....	137
Figure 39 : Biscuit enrichi en 20% de poudre de chardon marie cuit au four électrique (A) et au microonde (B).....	138

Introduction générale

Introduction générale

Introduction générale

La croissance du marché des produits de boulangerie dans le monde est d'environ 1,5% par année. Compte tenu de sa taille, il est considéré comme un contributeur potentiel à l'économie et à l'emploi. La consommation des produits de boulangerie augmente jusqu'à 7% en raison de leurs avantages sur la santé ainsi que leurs disponibilité (Nhouchi et al., 2018).

Les biscuits sont des produits céréaliers très populaires à travers le monde (Okpala et Okolo, 2013; Dayakar et Bhargavi, 2017). Certaines des raisons de cette popularité sont le goût sucré et varié, la nature prête à manger, le faible coût, la valeur nutritionnelle, la disponibilité et la durée de conservation plus longue (Sudha et al., 2007; Vujic et al., 2014).

De nos jours, la fabrication de produits de boulangerie a de nombreux défis dus aux changements de comportement des consommateurs et d'habitudes alimentaires. Le consommateur d'aujourd'hui recherche la sécurité des produits de boulangerie non seulement avec un goût frais et agréable mais aussi avec une longue durée de vie et avec des avantages pour la santé (Nhouchi et al., 2018). Ce changement de perspective des consommateurs a encouragé l'industrie des aliments à appliquer les technologies des fabrications modernes à l'enrichissement des biscuits (Ansari et Kumar, 2012).

Au fil des ans, plusieurs études ont été rapportées pour améliorer la valeur nutritionnelle des biscuits en incorporant des légumineuses et des graines oléagineuses tels que l'haricot, les graines de sésame, les pois chiches, l'orge, le niébé, la lupin, le soja et le maïs (Serrem, 2010; Hyun-Jung et al., 2014). Aussi, en ajoutant des fruits et des légumes comme le pastèque, la grenade, la figue de barbarie, la citrouille et la carotte (Mukhtar et al., 2016; Olaitan et al., 2017).

La qualité des biscuits est influencée par plusieurs facteurs tels que la nature et la quantité des ingrédients utilisés et les conditions de traitement, telles que le pétrissage, la fermentation ainsi que la cuisson (Sudha et al., 2007; Devi et Khatkar, 2016).

Le pétrissage assure l'hydratation des ingrédients, le développement de la structure de la pâte, ainsi que l'introduction de la phase gazeuse. La fermentation permet l'augmentation de la fraction volumique gazeuse. Au cours de la cuisson, il y a passage de la pâte de l'état liquide à l'état solide (Ndangui, 2015).

Jusqu'à présent, la littérature ne fait mention que de quelques travaux visant l'effet de quelques traitements technologiques sur la qualité des biscuits (Lassoued-Oualdi, 2005; Douiri, 2007).

Le but de ce travail était de substituer la farine de blé tendre par la poudre des glands de chêne naturels et traités et par la poudre des graines de chardon marie aux différents taux d'incorporation (10, 20 et 30%) dans la préparation des biscuits et de suivre certains traitements technologiques de ces biscuits afin d'évaluer leur qualité.

Notre objectif réside dans l'amélioration de la qualité nutritive et sensorielle des biscuits enrichis et traités.

Ainsi, la première partie de cette thèse est consacrée à l'état de l'art concernant des généralités sur les biscuits et leurs constituants de base ainsi qu'une description de leurs enrichissements et traitements technologiques.

La deuxième partie concerne l'étude expérimentale est constituées de :

- Chapitre 1 : matériel et méthodes, où sont mentionnés les techniques d'analyses et les procédés de préparation et de traitement des biscuits enrichis ;
- Chapitre 2 : résultats et discussion, où sont discutés les différents résultats obtenus ;
- Conclusion et perspectives.

Etude bibliographique

Etude bibliographique

Chapitre 01 : Biscuits

Chapitre 01 : Biscuits

1. Histoire d'apparition du biscuit

Les origines des biscuits remontent à plusieurs milliers d'années, lorsque la bouillie de céréales devenue galette, premier aliment condensé susceptible d'être conservé (Zhou, 2014).

Ce sont en fait des marins du Moyen-âge qui ont créé le terme. Pour se nourrir durant leurs longues traversées, ils emportés de la farine, des œufs et de l'eau pour les cuisiner. Ce mélange était cuit deux fois dans le but de mieux conserver (Manley, 2000).

La consommation des biscuits est devenue de nos jours très populaire à travers le monde (Okpapala et Okolo, 2013). Leur popularité est principalement due à leur goût sucré, nature prête à manger, coût abordable, valeur nutritive et longue durée de conservation (Sudha et al., 2007; Vujic et al., 2014).

2. Description du terme « biscuit »

Le mot biscuit est dérivé du Latin « *panis biscotis* » qui signifie le « *pain cuit deux fois* ». C'est parce que le processus original consistait à cuire les biscuits dans un four chaud puis à sécher dans un autre à température plus basse. D'abord pour définir la structure, puis pour réduire la teneur en humidité (Serrem, 2010; Zhou, 2014).

Les biscuits normaux sont cependant seulement cuits une fois. Les biscuits se distinguent des autres produits de boulangerie par leur faible taux d'humidité ce qui les rend peu susceptibles de subir une altération microbienne (Serrem, 2010).

Le terme biscuit fait référence aux produits de boulangerie cuits au four contenant trois principaux ingrédients, à savoir la farine de blé tendre, le sucre et la matière grasse avec autres ingrédients mineurs tels que le lait, sel, agent aromatisant et les agents d'aération (Devi et Khatkar, 2016; Mamat et Hill, 2014). Les ingrédients sont mélangés et la pâte est découpée en morceaux de la taille souhaitée puis cuite pendant quelques minutes (Ansari et Kumar, 2012).

3. Classification des biscuits

Dans la fabrication des biscuits, les principaux ingrédients sont, la farine, le sucre, la matière grasse et l'eau. Une variété de forme et de texture peut être produite

en changeant les proportions de la farine, de sucre et de la matière grasse (figure 1) (Maache-rezzoug et al., 1998a).

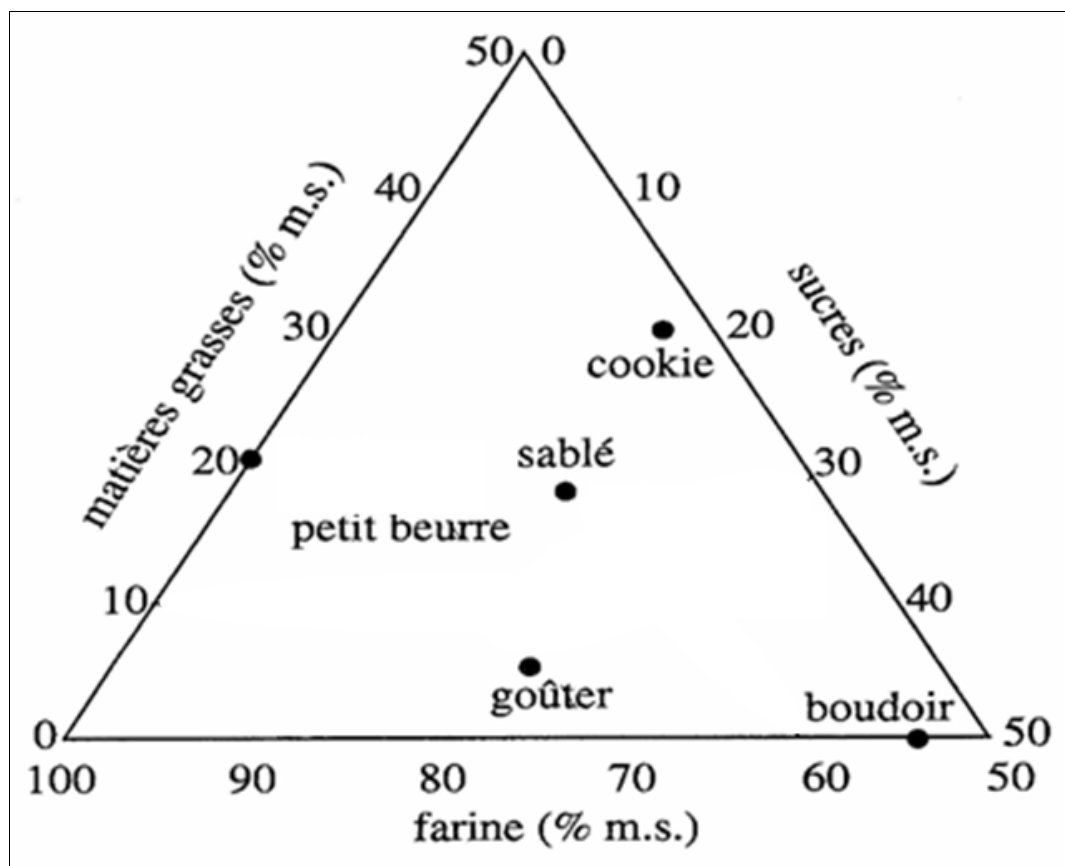


Figure 1 : Différents types de biscuits en fonction de la teneur en farine, en matières grasses et en sucres (Fustier, 2006).

Une classification peut être envisagée en fonction de la consistance de la pâte de biscuit :

- ✓ Les pâtes dures ou semi-dures donnant naissance au type de biscuits secs : casse-croûte, etc ;
- ✓ Les pâtes molles s'adressent aux pâtisseries industrielles telles que les génoises, madeleines et les macarons. La particularité de ces biscuits est leur richesse en œufs et en matières grasses ;
- ✓ Les pâtes qui ont une forte teneur en lait ou en eau et contiennent peu de matières grasses. Ce sont les pâtes à gaufrettes (Kiger et Kiger, 1967; Mohtedji-Lambalais, 1989; Manoharr et Rao, 2002).

Aussi, on distingue trois types de biscuits en fonction de leurs compositions de base :

- ✓ Les biscuits riches en glucides complexes comme les biscuits secs. Leur valeur énergétique est d'environ 400 cal/100g ;
- ✓ Les biscuits riches en glucides simples, tels que les biscuits confiturés, les biscuits roulés. Leur valeur énergétique est d'environ 430 cal/100g ;
- ✓ Les biscuits riches en lipides comme les biscuits pâtisseries tels les biscuits chocolatés et les sablés. Leur valeur énergétique est d'environ 500 cal/100g (**Fredot, 2005**).

4. Rôle des ingrédients de biscuits

Les principaux ingrédients de la pâte à biscuits sont la farine de blé tendre, le sucre, le gras et l'eau. Ils sont mélangés avec d'autres ingrédients mineurs (tels que la levure chimique et le lait écrémé en poudre) pour former une pâte contenant un substrat bien développé de réseau de gluten. La nature et la quantité des ingrédients dans la pâte déterminent la qualité de biscuit (**Mamat et Hill, 2018**).

Plusieurs auteurs ont essayé de décrire l'effet des ingrédients de la pâte et l'équilibre de sa formule sur la structure finale des biscuits (**Saadoudi, 2019**).

4.1. Rôle des principaux ingrédients de biscuit

4.1.1. Rôle de la farine

La farine de blé tendre est l'ingrédient principal de la majorité des biscuits. Les caractéristiques physiques et chimiques des farines affectent leurs fonctionnalités (**Mamat et Hill, 2018**).

L'utilisation très répandue de la farine dans la préparation de la pâte des biscuits est liée à sa capacité à retenir le gaz permettant ainsi son expansion lors de la cuisson. Les différents constituants de la farine (protéines, lipides, glucides...) jouent un rôle direct ou indirect dans la structuration et l'aération de la pâte (**Ndangui, 2015**).

4.1.2. Rôle d'eau

L'eau est un ingrédient important pour la formation de la pâte. Elle hydrate la farine, fournit la mobilité nécessaire aux constituants de la farine pour la réalisation des réactions chimiques (**Ndangui, 2015**).

Une pâte panifiable contient typiquement 0,6 à 0,8 gramme d'eau par gramme de farine sèche. La présence de l'eau est essentielle puisqu'elle intervient à trois niveaux dans le pétrissage :

- L'eau assure la dissolution des composés solubles ;
- L'eau détermine en grande partie les propriétés rhéologiques de la pâte (cohésion, consistance, viscoélasticité...);
- ✓ L'eau influe, enfin, la rétention gazeuse : une pâte à teneur en eau totale inférieure à 35 % n'est pas capable de retenir les bulles gazeuses introduites en cours de pétrissage (**Lassoued-Oualdi, 2005; Ndangui, 2015**).

4.1.3. Rôle de la matière grasse

Quantitativement, la matière grasse est le troisième ingrédient le plus important utilisé dans la fabrication des biscuits. Du point de vue qualité sensorielle, la matière grasse fait partie des ingrédients principaux qui ont une influence sur la texture de biscuit (**Devi et Khatkar, 2016**).

4.1.3.1. Rôle de la matière grasse dans la rhéologie de la pâte

Le type et le niveau de la matière grasse dans la formulation des biscuits a un impact robuste sur les propriétés viscoélastiques de la pâte. Le niveau de la matière grasse ajoutée dans la formulation de la pâte à biscuits influe puissamment sur l'usinabilité de la pâte tout au long du processus de préparation et aussi sur la qualité du produit final. L'ajout de corps gras entraîne une baisse du développement de gluten, ce qui produit une pâte moins élastique. La matière grasse supplémentaire retarde l'apparition d'un écoulement visqueux, tout en diminuant en même temps les propriétés élastiques du gluten. L'augmentation du niveau de corps gras diminue le temps de développement de la pâte. Le taux de la matière grasse plus élevé a un effet ramollissant et diminue la consistance de la pâte (figure 2) (**Lassoued-Oualdi, 2005; Devi et Khatkar, 2016**).

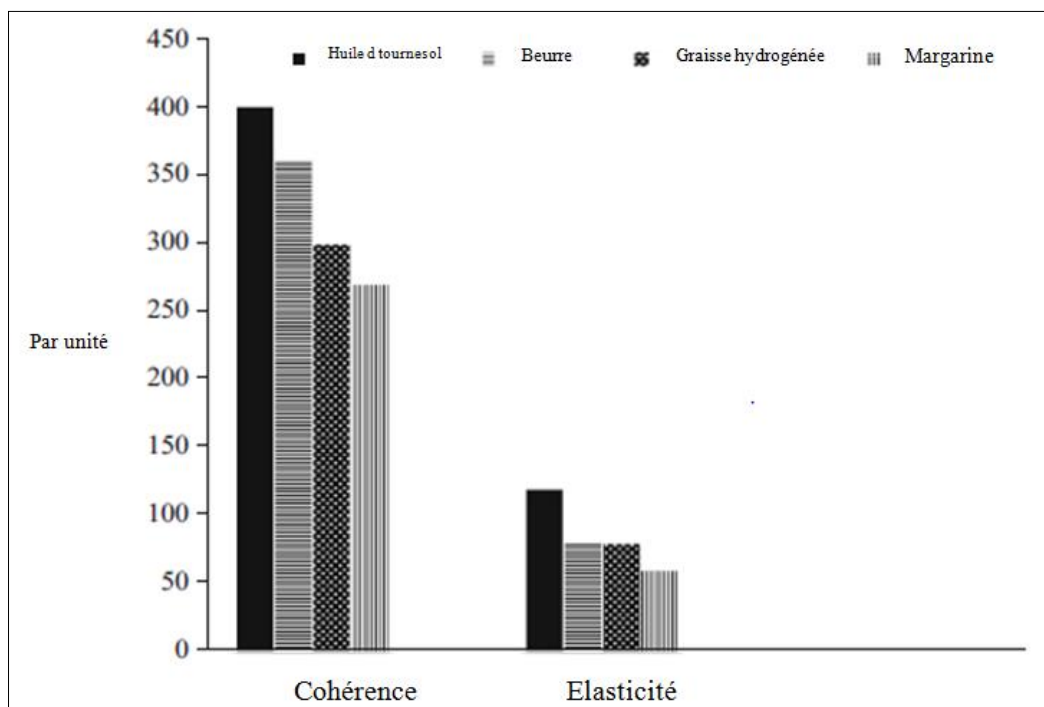


Figure 2 : Effet de type de la matière grasse sur les caractéristiques farinographies de la pâte de biscuit (Devi et Khatkar, 2016).

4.1.3.2. Rôle de la matière grasse dans la qualité des biscuits

Les matières grasses sont des ingrédients principaux responsables de la sensation en bouche, pouvoir lubrifiant, saveur, apparence générale et la durée de conservation de produit. De plus, elles sont responsables de la couleur de biscuit et de goût qui sont des paramètres de qualités très importants (Ndangui, 2015; Devi et Khatkar, 2016).

Les biscuits préparés par la margarine et le beurre ont une propagation comparable. Par conséquent, les biscuits contenant des huiles liquides ont tendance à avoir une plus grande propagation (Devi et Khatkar, 2016).

4.1.4. Rôle de sucre

Le saccharose est un disaccharide. Il joue un rôle important dans le processus de cuisson. En plus de la douceur, il ajoute aussi de la texture, et de la couleur, et agit comme un conservateur. Selon le niveau et le type, le sucre influe les différents paramètres rhéologiques caractéristiques de la pâte à biscuit. Le sucre inhibe le développement du gluten pendant le pétrissage de la pâte en concurrence avec la farine pour l'eau de la recette (Mamat et Hill, 2018).

4.1.4.1.Aspect et texture de biscuit

Les sucres contribuent à l'étalement de la pâte des biscuits. La dissolution progressive des sucres pendant la cuisson diminue la viscosité de la pâte. En plus, les sucres jouent un rôle dans la dureté du biscuit final, de sa couleur et de son volume **(Mamat et Hill, 2018)**.

4.1.4.2.Conservation

Les sucres jouent aussi un rôle important au niveau de la conservation des produits alimentaires. Par ailleurs, par sa grande affinité pour l'eau, les sucres et les sirops de sucres permettent la conservation des nombreux produits de boulangerie, en ralentissant la perte d'humidité.

Le saccharose joue un rôle d'antioxydant dans les biscuits et contribue ainsi à prolonger sa durée de conservation en retardant la rancidité des graisses **(Mamat et Hill, 2018)**.

4.1.4.3.Autres propriétés

Les sucres ont également d'autres propriétés. Ils activent les levures lors de la fermentation. De plus, les produits de la réaction de Maillard ont des propriétés antioxydantes. Pour cette raison, certains produits de la réaction de Maillard sont utilisés dans l'industrie alimentaire comme additifs **(Biguzzi, 2013)**.

4.1.5. Rôle de la levure chimique

L'utilisation de la levure chimique fabriquée est plus fréquente dans la préparation des produits de boulangeries. Une levure chimique à simple effet contient l'anhydride de phosphate monocalcique. Tandis que, la levure chimique à double effet contient de l'hydrate de phosphate monocalcique et de sulfate d'aluminium et du sodium. La levure à double effet destinée à la boulangerie contient l'hydrate de phosphate monocalcique et pyrophosphate acide de sodium **(Sharma, 2013; Ndangui, 2015)**. L'action de la levure dépend largement des conditions environnantes (température, pH, teneur en eau...) **(Saadoudi, 2019)**.

4.2.Rôle des ingrédients facultatifs de biscuit

4.2.1. Rôle de sel

Le sel alimentaire (NaCl) est présent dans la plupart des produits de boulangerie à raison de 2% du poids de la farine. C'est un exhausteur de goût, diminue les arrière-goûts et ralentit l'activité de la levure. Il a aussi une tendance à limiter la disponibilité de l'eau et donc il améliore la conservation. Le sel solubilisé dans l'eau crée des

liaisons ioniques avec les protéines de la farine en améliorant la capacité d'absorption d'eau. Le sel favorise également la coloration de la croûte, qui reste pâle en son absence (Ndangui, 2015).

4.2.2. Rôle de lait

Le lait est généralement utilisé pour remplacer l'eau dans certains produits céréaliers, il participe aussi à la coloration de la croûte par la réaction de Maillard grâce à sa forte teneur en lactose (Mezian, 2011).

4.2.3. Rôle des œufs

Le mécanisme de la fonctionnalité des œufs dans les biscuits est loin d'être clair. Selon le type de biscuit, soit l'œuf entier ou seulement l'albumine est utilisé. D'autre part, les biscuits de moins de graisses, contiennent soit d'œuf entier ou de jaune d'œuf. Les œufs peuvent assurer des fonctions d'aération et de coagulation lors de la préparation de biscuit (Hui et al., 2006).

4.2.4. Rôle des aromatisants

Généralement l'utilisation du beurre et de lait en tant que des ingrédients dans la formule des biscuits remplit la fonction des aromatisants. Certains épices comme la cannelle, la noix et le gingembre sont également employés pour améliorer la saveur. Les aromatisants devraient être utilisés avec le plus grand soin car un léger surplus de quantité donne une très forte saveur qui devient désagréable et inacceptable au produit (Khatkar, 2017).

4.2.5. Rôle des améliorants

Les améliorants sont utilisés dans les produits céréaliers afin de corriger les défauts de certaines farines, rendre plus constantes la qualité de celles-ci. Ils peuvent être d'origine naturelle ou de synthèse.

Par exemple, un améliorant peut aider la pâte à lever (activation de la fermentation), assouplir la pâte, augmenter sa force, lui donner une meilleure couleur, ou lutter contre les problèmes bactériologiques. Les améliorants les plus utilisés sont classés dans le tableau 1 (Mezian, 2011; Ndangui, 2015).

Tableau 1 : Exemples des produits de substitution utilisés dans les produits céréaliers
(Ndangui, 2015).

Catégorie	Exemples	Rôle
Produits d'oxydation et de réduction	Acide ascorbique	Augmente l'élasticité et diminue l'extensibilité de la pâte, améliore la machinabilité et la tenue des pâtons
	Glucose oxydase	Augmente la consistance de la pâte et diminue le collant
	Levure désactivée (glutathion)	Augmente le développement du gluten et l'extensibilité de la pâte
	Farine de fève et de soja	Action sur les réactions de coloration de la croûte et de la mie
	Lécithines, E322	Diminue la porosité de la pâte
Emulsifiants	Monoglycéride saturé, E471	Augmente la régularité alvéolaire
	Esters diacetyl-tartriques de monoglycérides, E47	Augmente le volume des pains
Produits enzymatiques d'hydrolyse	Farine de malt	Augmente l'activité fermentaire et la vitesse des réactions de coloration
	Hémicellulases	Augmente le volume des pains et la coloration de la croûte
	Lipases	Augmente le volume des pains et la régularité alvéolaire
Conservateurs	Acides sorbique et sorbates	Augmente la durée de conservation
	Acide acétique et acétates	Effet antimicrobien et propriétés organoleptiques
Gluten de blé	Gliadine, glutenines	Augmente la rétention gazeuse, la fixation d'eau et diminue le rassissement du pain

5. Apport nutritionnel des biscuits

La diversité dans la composition des biscuits leur confère un pouvoir nutritionnel intéressant (tableau 2) (Fredot, 2005).

Etude bibliographique

Tableau 2 : Valeur nutritionnelle moyenne de quelques biscuits (Fredot, 2005).

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	8,4
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

Les biscuits sont habituellement composés de farine, de sucre, de matières grasses, d'eau, de sel et de levure chimique. Cette diversité dans la composition des biscuits leur confère un pouvoir nutritionnel intéressant (Ait Aneur, 2006). Dans les biscuits secs, il y a une prédominance des matières céréalières environ 72%, de l'amidon 51,5% (Saadoudi, 2019). Ils contiennent une bonne teneur en protéines et en fibres. Les biscuits secs se distinguent des autres produits céréaliers par leur faible teneur en eau : 1 à 5% contre 15 à 30% pour les gâteaux. Du fait de leur teneur faible en eau, les biscuits secs ont une densité énergétique élevée. La teneur en lipides des biscuits secs est estimée à 12% (Ait Aneur, 2006). En effet, les biscuits apportent aux enfants 3,9% des apports en glucides complexes et 2,5% pour les fibres. Les quantités de nutriments indiquées sont des valeurs moyennes, ces valeurs peuvent varier pour différents types de biscuit sec (Saadoudi, 2019). Chez les adultes, ces valeurs sont réduites à la baisse du fait de la baisse de la consommation. Les biscuits contribuent aux apports en glucides de 1,7% et 0,9% des fibres. La contribution des biscuits aux apports en lipides et glucides est remarquable (tableau 3). Les apports en lipides sont de l'ordre de 4,7% chez les enfants et 2,1% chez les adultes. Les apports en glucides simples sont de 4,5% chez les enfants et 2,9% chez les adultes (Ait Aneur, 2006).

Tableau 3 : Contribution des biscuits aux apports nutritionnels (Ait Aneur, 2006).

Apport nutritionnel	Glucides Complexe	Fibres	Lipides	Glucides simples	Energie
Enfants	3,9 %	2,5 %	4,7 %	4,5 %	3,6 %
Adultes	1,7 %	0,9 %	2,1 %	2,9 %	1,8 %

6. Critères de qualité des biscuits

Les attributs de qualité des produits alimentaires incluent le goût, l'arôme, la texture, la couleur et le contenu en éléments nutritifs. Dans la plupart des cas, ces attributs commencent à décliner dès qu'une autre matière première ou ingrédient est ajouté au biscuit (**Floros et al., 2010**).

Dans les procédés industriels, dont font partie les industries de la biscuiterie, la productibilité des lignes dépend du respect des critères de qualité des produits fabriqués. Pour un biscuit, il s'agit de satisfaire à des contraintes dimensionnelles, de texture, de goût, de couleur et de valeur nutritionnelle (**Tharrault, 1997**).

6.1. Caractéristiques physicochimiques

6.1.1. Humidité finale

La teneur finale de l'eau est importante à évaluer lors de la conservation de produit céréalier, puisque sa qualité est affectée par sa teneur en humidité, ce qui implique des changements dans le produit, réduisant ainsi l'acceptabilité du produit par le consommateur (**Bourekoua, 2018**).

6.1.2. Volume

Le volume de produit céréalier est un critère très important utilisé pour déterminer et évaluer sa qualité. Il est particulièrement important dans la détermination de la qualité de produit céréalier sans gluten dont le volume est généralement inférieur en comparaison au produit à base de blé. Cela est expliqué par l'absence des protéines du gluten responsables de la rétention gazeuse (**Bourekoua, 2018**).

6.1.3. Texture

La texture est une propriété importante de la qualité finale des biscuits qui influence fortement son acceptabilité par le consommateur. Le paramètre le plus important pour évaluer la qualité des produits céréaliers est la dureté, qui présente la force maximale de la première compression (**Bourekoua, 2018**).

6.2. Qualité nutritive

Le produit céréalier est l'aliment commun dans l'alimentation humaine, sa consommation importante lui confère une position d'importance mondiale dans la nutrition internationale. Un produit céréalier idéal doit avoir un index glycémique bas. Il doit être une source importante en protéines, en fibres, en vitamines, en sels minéraux et en antioxydants (**Bourekoua, 2018**).

6.3. Caractères organoleptiques

Il est bien connu que les propriétés sensorielles de produit céréalier sont liées fortement aux ingrédients utilisés et les conditions de préparation, affectant ainsi le choix des consommateurs (**Bourekoua, 2018**). Les biscuits doivent satisfaire les attentes des consommateurs (concernant la forme, la couleur, la texture et le goût) (**Tharrault, 1997**).

7. Filière des biscuits en Algérie

D'après la dernière enquête de l'office national des statistiques en 2011, le groupe des céréales et dérivées, occupe encore aujourd'hui une place prépondérante dans la consommation alimentaire des ménages algériens puisqu'il occupe la première place dans le budget alimentaire des ménages algériens (17.5% de la dépense alimentaire totale) avec une prépondérance de la semoule (38% des achats de produits céréaliers) directement suivis par le pain (30%), les produits industriels (couscous, pâtes, biscuits et pâtisserie, 21%) sont en hausse et la farine (11%) (**ONS, 2011; Brahim et al., 2017**).

La filière biscuits est en repli en Algérie face à la montée des importations. En dix ans, les importations ont été multipliées par 60. La production algérienne ne résiste, faiblement, que par ses prix. En 2010, l'Algérie a importé pour plus de 20,5 millions de dollars de biscuits. En cinq ans, les importations de cette catégorie de produit a été multipliée par 2,5. Des signes pour des producteurs algériens en profil bas. En dix ans, l'inversion de tendance est totale. En 2001, les montants des importations de biscuits étaient de 300.000 dollars. Durant cette même décennie, la liste des pays fournisseurs de ces produits a doublé, passant de 17 à 34 pour les biscuits. C'est la filière biscuits de la Tunisie qui fait beaucoup mieux sur le marché algérien. Elle représente, depuis 2007, plus de 48% des importations de ces produits. Les biscuits en provenance de Turquie arrivent seconde position, avec environ la moitié des importations de Tunisie. L'Espagne, la France et l'Italie complètent le classement des cinq premiers fournisseurs de biscuits en 2010. Ces cinq pays représentent des proportions sensiblement identiques depuis 2007. Les filières algériennes de biscuits s'exportent mal (**Saadoudi, 2019**).

Chapitre 02 : Technologie des biscuits

1. Technologie des biscuits

La technologie des produits céréaliers comprend 8 étapes : mixage, pétrissage, fermentation, laminage, mise en forme, cuisson, refroidissement et conditionnement (figure 3).

La qualité des biscuits est influencée par plusieurs facteurs tels que la qualité et la quantité des ingrédients utilisés et les traitements effectués comme le pétrissage, la fermentation et la cuisson (Sudha *et al.*, 2007; Devi et Khatkar, 2016).

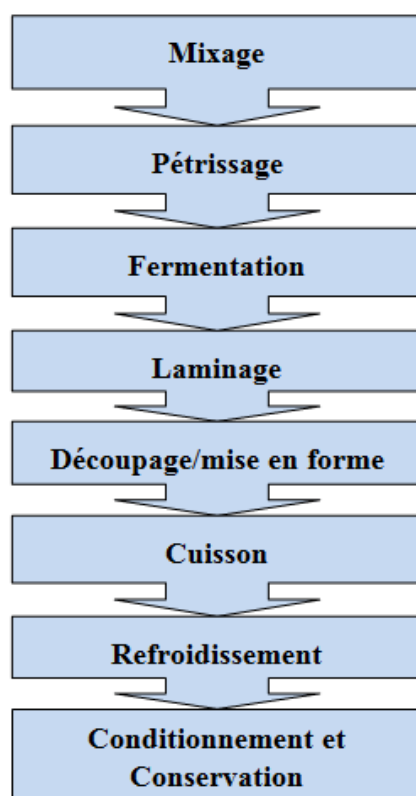


Figure 3 : Organigramme des étapes de fabrication des biscuits (Yadav *et al.*, 2012; Denis, 2011).

2. Etapes de fabrication des biscuits

2.1. Mixage

Le mixage est la première étape dans le processus de préparation des biscuits (figure 6). Cette opération permet de mélanger le sucre, la matière grasse, les œufs et autres ingrédients afin qu'ils forment une masse cohérente (Maache-Rezzoug *et al.*, 1998_b; Noah, 2017). Ce procédé est accompli avec trois principaux types de mixage :

mixage à broche verticale, mixage à tambour horizontal et mixage continu (Saadoudi, 2019).

2.2. Pétrissage

Le pétrissage est une opération qui va aboutir à la formation d'un produit viscoélastique à partir de deux constituants : eau et farine. Quand l'eau est ajoutée à la farine, elle se répartit d'abord grossièrement dans la masse farine, puis le pétrissage oblige l'eau à envelopper tout d'abord chaque particule de 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 aux parois de la cuve du pétrin et elle devient lisse, sèche et élastique (Saadoudi, 2017).

On distingue trois types de pétrissage :

- **Le pétrissage conventionnel** : qui assure un travail mécanique souvent insuffisant avec les farines actuelles dont le gluten est relativement tenace ;
- **Le pétrissage intensifié** : qui donne des pâtes suroxydées ;
- **Le pétrissage amélioré** : qui assure le meilleur équilibre entre le développement de la pâte et la conservation de sa texture, de son goût et de ses arômes (Saadoudi, 2019).

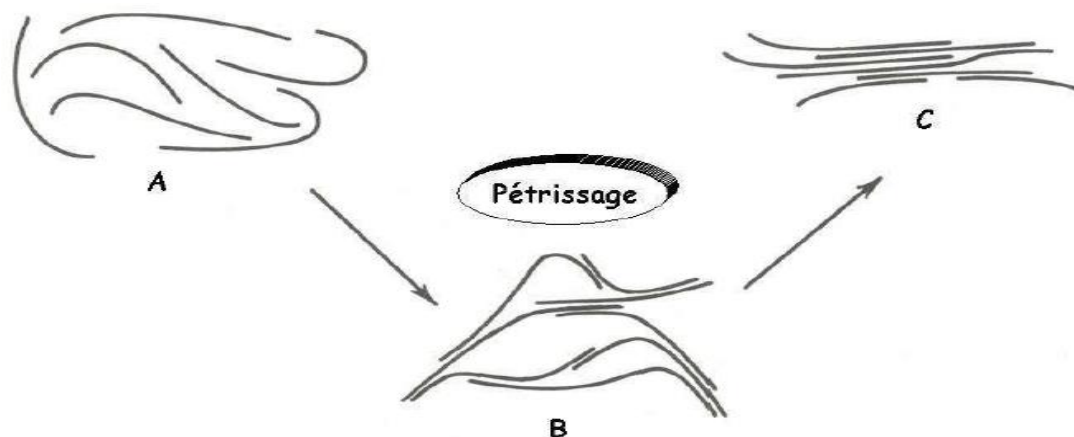


Figure 4 : Action de pétrissage sur la réorientation des protéines du gluten (Ndangui, 2015).

Sous l'effet d'un bon pétrissage les protéines du gluten (A) mènent à la formation d'un réseau cohésif et assurent une meilleure élasticité et rétention de gaz (B). Un pétrissage trop important forme une pâte cassante (C) sous l'effet des interactions fortes entre les protéines.

Etude bibliographique

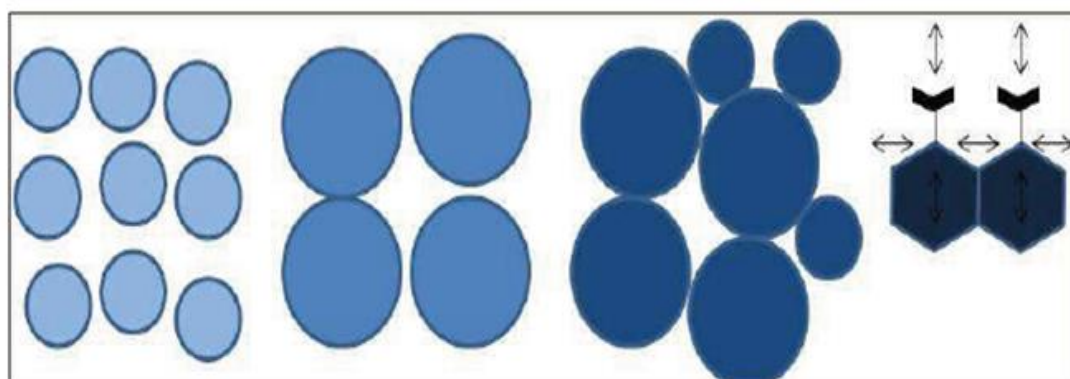
L'étape de pétrissage assure quatre fonctions intimement liées, essentielles pour l'obtention d'une pâte bien aérée :

- ✓ Le mélange des différents ingrédients en une pâte homogène ;
- ✓ Le développement du réseau glutineux (figure 4);
- ✓ La structuration du réseau protéique ;
- ✓ L'incorporation de l'air dans la pâte pour favoriser la multiplication des levures (**Lassoued-Oualdi, 2005; Nhouchi et al., 2018**).

Le pétrissage est employé afin de développer un produit avec des caractéristiques désirables plutôt qu'assurer l'homogénéité, cependant un pétrissage excessif peut altérer la pâte (**Fellow, 2000**).

2.3.Fermentation

La pâte des biscuits pétrie est transférée dans une cuve à 25 °C pour un repos de durée variable et pour permettre la fermentation. La pâte est fermentée généralement à 25 et 32 °C pendant une période donnée. La fermentation fournit une pâte extensible, lisse avec une bonne rétention des gaz (figure 5) (**Mousavi Khaneghah et al., 2018**).



Fin de pétrissage

Fermentation

Figure 5 : Évolution de la taille et de la forme (de sphérique à polyédrique) des cellules gazeuses dans une pâte au cours de la fermentation (**Ndangui, 2015**).

2.4.Laminage

Le laminage est la méthode la plus courante pour former la pâte biscuitière en feuille. Il implique la production d'une feuille de pâte épaisse, dont l'épaisseur est réduite en passant par divers lamineurs rotatoires (Manley, 1998a; Manley, 2001).

2.5.Découpage (moulage)

Le découpage est l'étape qui suit le laminage. A 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 des poids et dimensions identiques (Manley, 1998a).

2.6.Cuisson

La cuisson est une étape complexe au cours de laquelle a lieu une série de transformations physiques, chimiques et biochimiques (Lassoued-Oualdi, 2005; Ndangui, 2015).

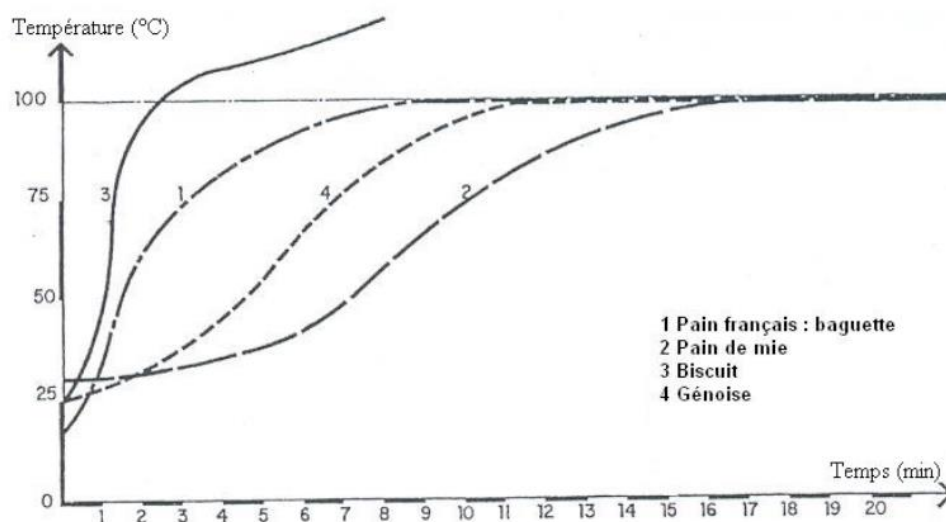


Figure 6 : Profil de température interne pendant la cuisson de différents produits céréaliers (Douiri, 2007).

Ainsi, selon le type de produit céréalier, le temps de cuisson peut varier de 6 à 10 minutes pour une température de cuisson variant entre 180 et 220°C (figure 6) (Manley, 2000).

Plusieurs réactions physicochimiques se produisent pendant la cuisson des biscuits (figure 7) :

- La fonte des graisses entre 15 et 50 °C favorise l'étalement de la pâte ;

Etude bibliographique

- Dissolution des sucres : la moitié des sucres se dissolvent lors de pétrissage et le reste à l'état cristallin se dissout lors de cuisson. Cela augmente également la fluidité et permet à la pâte de s'étaler ;
- Gélatinisation de l'amidon entre 52 et 95 ° C. En général, l'amidon n'est que partiellement gélatinisé dans les biscuits et les granules d'amidon conservent leur intégrité morphologique en tant qu'amidon natif ;
- Les poudres à lever deviennent actives entre 55 et 70 °C en libérant du CO₂ et du NH₃;
- Le réseau de protéines peut se développer, ce qui s'accompagne d'une augmentation de la viscosité ;
- La pâte continue à se dilater en raison de la production et de la dilatation thermique du gaz ;
- La perte d'eau et le séchage des biscuits se poursuivent jusqu'à atteindre une teneur en humidité basse avec une rigidité de structure;
- Enfin, la formation de dérivés de réaction de Maillard, la caramélisation des sucres et la dextrinisation de l'amidon accompagnant la modification de la couleur de surface et de la génération d'arômes des produits (**Fustier, 2006**).

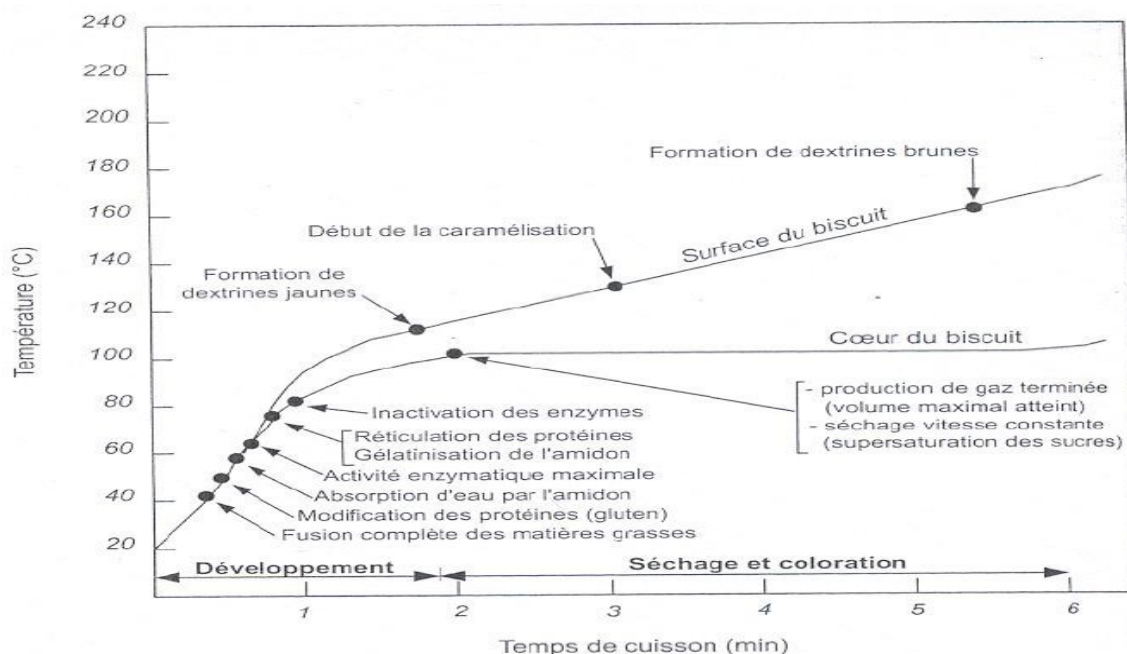


Figure 7 : Processus de cuisson d'un biscuit (distribution des phénomènes de cuisson dans le temps et l'espace) (**Douiri, 2007**).

2.7. Refroidissement de biscuit

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 nécessaire 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, 1998b**).

2.8. Conditionnement et conservation de biscuit

La conservation des biscuits doit avoir lieu à l'abri de l'humidité. En raison de leur composants sensibles aux réactions d'oxydation et à la lumière ; son conditionnement doit donc être adéquat (**Fredot, 2005**).

3. Développement de la technologie des produits céréaliers

Le développement technologique permet d'optimiser et d'accélérer les processus de la production des produits céréaliers et d'augmenter leurs valeur. L'industrie des produits céréaliers a utilisé les graines entières et les pseudo-céréales comme source supplémentaire des composés actifs et les opérations biotechnologiques comme l'utilisation des souches de levure et l'encapsulation appropriée dans la production des produits céréaliers fonctionnels. L'ajout aux produits céréaliers des fruits, des légumes et des condiments comme source des composés biologiquement actifs peut augmenter sa teneur en vitamines, en minéraux, en fibres et en autres composés bioactifs. Toutes ces techniques pourraient indirectement améliorer la santé et le bien-être des consommateurs (**Brodowska et al., 2014**). Un schéma général montrant les opérations unitaires dans la transformation des céréales et les facteurs influençant la qualité des produits céréaliers est illustré dans la figure 8 (**Poutanen et al., 2014**).

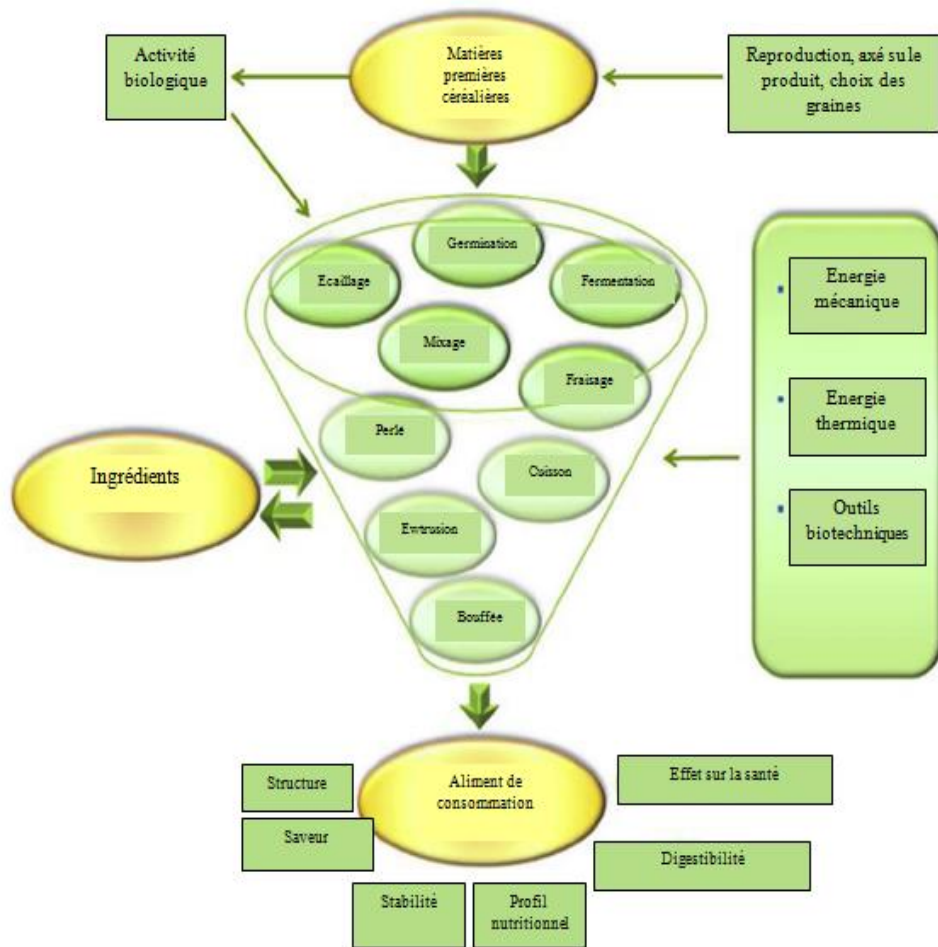


Figure 8 : Opérations unitaires dans la préparation des produits céréaliers de qualité
(Poutanen *et al.*, 2014).

Chapitre 03 : Enrichissement des aliments

1. Histoire d'enrichissement des aliments

Le concept d'aliments fonctionnels est né au Japon. À la suite des recherches systématiques et à grande échelle sur les composés chimiques dérivés des produits naturels, le concept des aliments pour usage spécifique à la santé (Foods for Specific Health Use : FOSHU) est né en 1991. Ces aliments sont destinés à améliorer la vie des personnes et le fabricant est autorisé à afficher sur le récipient les allégations de santé spécifiques. Les aliments fonctionnels sont également connus sous les noms des aliments nutraceutiques, aliments désignés pour certains effets, pharmaaliments, médialiments, aliments vitaux, aliments enrichis (**Ansari et Kumar, 2012**).

2. Définition des aliments enrichis

Un aliment enrichi est un aliment avec de nouveaux nutriments ou composants ajoutés et normalement non trouvé dans ce produit (**Spence, 2006**).

Les aliments fonctionnels sont des aliments pouvant avoir des effets bénéfiques sur la santé au-delà de la nutrition de base. Les aliments fonctionnels sont similaires en apparence aux aliments conventionnels destinés à être consommés dans le cadre d'un régime normal, mais ont été modifiés pour servir des rôles physiologiques au-delà des simples besoins en nutriments. En règle générale, un aliment commercialisé comme fonctionnel contient des ingrédients ajoutés, technologiquement développés ont des avantages spécifiques sur la santé (**Siro et al., 2008**).

3. Types des aliments enrichis

Il existe plusieurs classes des aliments enrichis et de nombreux travaux publiés autour l'enrichissement des aliments :

3.1. Produits laitiers

3.1.1. Yaourt

Plusieurs chercheurs ont signalés un succès de l'enrichissement du yaourt (**Kitawaki et al., 2009**). Des tentatives ont été également faites pour obtenir un enrichissement en calcium, en fer et en fibres. En plus, l'enrichissement du yogourt en produits à base de soja et des phytostérols a suscité beaucoup d'intérêt. Puisque il est utile pour prévenir l'accumulation des lipides hépatiques et pourrait être consommé pour réduire le risque de maladie cardiovasculaire car il améliore le profil lipidique.

Les yaourts préparés à partir de lait de chèvre sont également efficaces pour la protection contre les lésions hépatiques aiguës. Le yogourt contenant les souches bactériennes probiotiques *Lactobacillus acidophilus* et *Bifidobacterium lactis* abaissait le cholestérol sérique des gens hypercholestérolémiques. En plus, ils ont un effet anti-inflammatoire sur les maladies de l'intestin. Le concentré de protéines de lactosérum peut être utilisé dans la fabrication de yogourt sans matières grasses ayant des propriétés physiques et organoleptiques satisfaisantes (Ansari et Kumar, 2012).

3.1.2. Fromage

Le fromage est un bon moyen de transporter des composés phytochimiques solubles dans l'huile. Le fromage est un bon moyen pour la livraison d'acides gras oméga-3, l'acide docosahexanoïque et l'acide eicosapentanoïque (Jones et al., 2005; Martini et al., 2009; Ansari et Kumar, 2012).

3.2. Produits à base de fruits

3.2.1. Confitures, gelées et marmelades

La fortification des confitures, des gelées et des marmelades a été tentée ces dernières années. L'enrichissement de ces produits en thé vert augmente leur potentiel antioxydant (Lavelli et al., 2010). La consommation des confitures, des gelées et des marmelades enrichis en fibres solubles ou bien en poudres de concentré de jus des fruits de cerise, de pomme, de canneberge, d'orange, de pêche, de papaye, d'ananas, de mûre, de cassis, de raisin et de framboise réduit les marqueurs de l'inflammation, ainsi augmente la teneur de β -carotène, de la vitamine C et de tocophérol (Jin et al., 2010; Ansari et Kumar, 2012).

3.2.2. Boisson

Les boissons constituent de bons véhicules pour la distribution de suppléments nutritionnels dans le corps (Pszczola, 1998; Ansari et Kumar, 2012). Lors de la formulation de ces produits, le technologue en alimentation prend en compte de nombreux facteurs comme la stabilité pendant la production et pendant le stockage. Les extraits de plantes, peuvent être incorporés dans les boissons non alcoolisées, les boissons à base d'eau minérale et les boissons énergisantes. L'addition d'ingrédients tels que l'arôme naturel de thé vert, l'arôme de fruit, de l'extrait de cannelle et l'extrait de pépins de raisin provoque une inactivation des radicaux libres et endogènes. En plus, des tentatives ont été faites pour développer des boissons non alcoolisées en

utilisant des combinaisons de poudre de maïs, de mangue, des graines de grenades et de farine de soja (Ansari et Kumar, 2012).

3.3. Produits à base de gras

3.3.1. Margarine

En raison des préoccupations croissantes quant aux effets nocifs des acides gras dans la margarine et les pâtes à tartiner, d'autres huiles végétales ayant un intérêt médicinal sont également utilisées dans la fabrication de la margarine et des pâtes à tartiner. Parmi celles-ci, les plus importantes sont l'huile de soja, l'huile de tournesol et l'huile de son de riz. Aussi, l'huile de maïs est utilisée comme huile essentielle pour enrichir la margarine, car elle est riche en gras polyinsaturé bénéfique pour la santé (Ansari et Kumar, 2012).

3.3.2. Mayonnaise

Quelques tentatives ont été faites récemment pour développer une mayonnaise allégée. La gomme de xanthane, les fibres d'agrumes et la gomme de guar ont été utilisés dans le développement d'une mayonnaise réduite en gras (Ansari et Kumar, 2012).

3.4. Produits à base des légumes

3.4.1. Sauces

Les sauces sont des préparations liquides ou semi-solides. Elles ajoutent de la saveur et un attrait visuel à la nourriture de base. Les ingrédients d'une sauce représentative sont des épaississants naturels comme le xanthane ou les gommes de guar, le beurre, concentré de tomate, acide citrique et sel. Certaines des sauces ont des effets biologiques remarquables. Le meilleur à cet égard, est la sauce de soja. Elle présente des effets anti-cancérigènes significatifs et agit contre les bactéries telles que *Staphylococcus aureus*, *Shigella flexneri*, *Vibrio cholerae*, *Salmonella enteritidis*, *Escherichia coli* non pathogène et *Escherichia coli* pathogène. Trois isoflavones tartriques présentes dans la sauce de soja fermentée ont la capacité d'inhiber l'enzyme histidine carboxylase, qui produit l'histamine, le médiateur de l'inflammation, de l'allergie et de la sécrétion gastrique (Kataoka, 2005; Ansari et Kumar, 2012). L'ajout de sauce de soja dans l'alimentation améliore légèrement l'activité d'élimination des radicaux hydroxyles (Nagatsuka et al., 2006).

3.4.2. Soupes

Récemment, de nombreuses soupes ont été préparées en combinant des herbes et de viande pour prévenir ou traiter les maladies (Au et al., 2008). Il est donc évident que les soupes peuvent être transformées en aliments enrichis en remplaçant les ingrédients classiques par ceux ayant des effets bénéfiques prouvés sur la santé. La soupe préparée à partir de viande d'aile de poulet avait une activité élevée de piégeage des radicaux peroxy et hydroxyle. De même, la consommation de soupe à l'oignon riche en quercétine a inhibé certains aspects de l'agrégation plaquettaire induite par le collagène (Ansari et Kumar, 2012).

3.5. Produits céréaliers

Les produits de boulangerie fournissent une matrice idéale des cibles d'enrichissement par laquelle la fonctionnalité peut être livrée au consommateur dans un aliment acceptable (figure 9) (Siro et al., 2008).

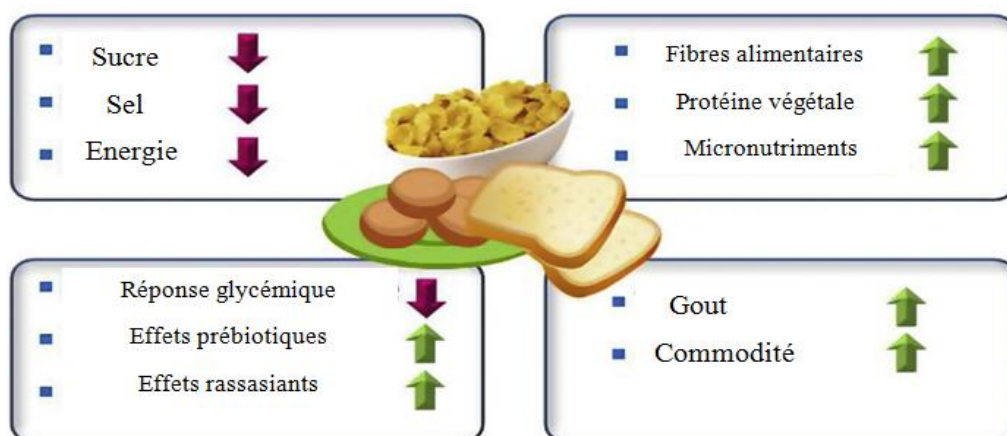


Figure 9 : Les cibles d'enrichissement des produits céréaliers (Poutanen et al., 2014).

3.5.1. Pain

De nos jours, de nombreux types de pains sont disponibles avec différentes formes, tailles, textures, croûtes, couleurs, élasticité, qualités et saveurs alimentaires. La fortification du pain par la phytochimie a été tentée au cours de ces dernières années. L'extrait de flavonoïde de citron et de pépins de raisin semblent également utiles pour fortifier le pain (Peng et al., 2010; Ansari et Kumar, 2012). La consommation de pain enrichi au thé vert pourrait prévenir les pathologies rénale

(Wang et Zhou, 2004; Abd El-Megeid et al., 2009). En plus, le pain enrichi en phytostérol est utile dans le traitement de l'hypercholestérolémie (Ansari et Kumar, 2012).

3.5.2. Biscuits

Les biscuits sont un moyen idéal pour transporter de nombreux ingrédients bénéfiques sur le plan nutritionnel. Il existe plusieurs façons de fortifier les biscuits. Plusieurs études ont été menées sur la substitution de la farine par d'autres farines telles que la farine de pois chiche, farine de fève et de protéines de soja. Ces farines permettent de produire des biscuits riches en protéines (Rababah et al., 2006; Ansari et Kumar, 2012). La consommation des biscuits additionnés par l'huile de palme aide à lutter contre les carences en vitamine A (Van Stuijvenberg et al., 2001). La consommation des biscuits enrichis par la vitamine B12, la vitamine C et les fibres prébiotiques aide à diminuer les taux sanguins de glucose et à réduire les facteurs de risque associés aux maladies cardiaques (Boobier et al., 2006; Ansari et Kumar, 2012). Le remplacement de la matière grasse normale dans la recette du biscuit par l'huile de son de riz améliore sa qualité nutritionnelle. L'huile de son de riz est une bonne source d'acides gras polyinsaturés et permet de réduire le cholestérol sanguin mieux que les huiles de tournesol ou de maïs (Gallagher et al., 2003).

3.5.2.1. Biscuits enrichis

Les biscuits offrent un bon véhicule de suppléments précieuses pour l'amélioration nutritionnelle (Zucco et al., 2011). Plusieurs études ont été rapportées pour améliorer la valeur nutritive des biscuits en incorporant des haricots, des graines de sésame, des pois chiches, de l'orge, du niébé, du lupin, des protéines de soja et des fibres de maïs (Serrem, 2010; Hyun-Jung et al., 2014).

Il existe plusieurs études effectuées autour l'enrichissement des biscuits, on peut classer ces études selon le type des composés ajoutés comme suit :

3.5.2.1.1. Biscuits enrichis en protéines

Les produits céréaliers sont pauvres en protéines (surtout en acides aminés essentiels) ce qui rend leur enrichissement en protéines très nécessaire. L'addition des graines entières des pseudocéréales aux produits de boulangerie améliore sa teneur en protéines (**Raffo et al., 2003; Brodowska et al., 2014**). Il existe plusieurs travaux précédents effectués sur l'enrichissement des biscuits en protéines. Les ingrédients les plus utilisés sont (pois chiche, haricote, soja, fenugrec, fève, millet, sésame et riz) (tableau 4) :

Etude bibliographique

Tableau 4 : Enrichissement des biscuits en protéines.

Produits Agro-alimentaires (AA)	Objectifs	Références
Soja (15%) et kinema (15%)	Etudier l'effet d'enrichissement sur la teneur en protéine, l'acceptabilité et la qualité sensorielle de biscuit	Shrestha et Noomhorm (2002)
Haricot (35%) et pois chiche (35%)	Estimer l'effet d'enrichissement sur la rhéologie de pate, la teneur en protéine, l'acceptabilité et la qualité sensorielle de biscuit	Noor et <i>al.</i> (2012)
Pois chiche (20, 40, 60 et 80%)	Etudier les propriétés rhéologiques de la pate des biscuits enrichis en poudre de pois chiche Améliorer la teneur en protéines de biscuit	Yamsaengsung et <i>al.</i> (2012)
Fenugrec naturel, trempée et germinée (mélanges de différentes proportions : 5%, 10%, 15% et 20%)	Évaluation organoleptique et nutritionnelle des biscuits enrichis par la poudre de fenugrec	Hooda et Jood (2005)
Millet (10 et 20%)	Déterminer l'effet de l'ajout de la poudre de mil sur la qualité des biscuits enrichis	Krishnan et <i>al.</i> (2011)
Lactosérum	Ajouter la poudre de lactosérum d'ovins au biscuit pour augmenter sa teneur en protéine	Secchi et <i>al.</i> (2011)
Beniseed (10%, 20%, 30% et 40%) et plantain immature (10%)	Préparer des biscuits riches en protéines	Agu et Okoli (2014)
Citrouilles cannellées (5%, 10%, 15%, 20% et 25%)	Préparer un biscuit riche en protéines	Giami et <i>al.</i> (2005)
Lupin germiné (10%, 20%, 30%, 40% et 50%)	Améliorer la teneur en protéines des biscuits	Dreher et Patek (1984)
Arachide dégraissée (5%, 10%, 15%, 20%, 25% et 30%)	Préparer des biscuits riches en protéines	Dauda et <i>al.</i> (2018)
Germe de maïs dégraissé (5%, 10%, 15%, 20% et 25%)	Préparer un biscuit riche en protéines	Serrem et <i>al.</i> (2011)
Soja dégraissé (28%, 50% et 71,4%)	Augmenter la teneur en protéines des biscuits	Rajiv et <i>al.</i> (2012)
Moutard (5%, 10%, 15% et 20%)	Etudier l'effet de l'incorporation de la poudre de moutarde sur les propriétés nutritionnelles, texturales et sensorielles des biscuits	Tyagi et <i>al.</i> (2007)
Champignons (5%, 10% et 15%)	Développement et évaluation de la qualité des biscuits enrichis en poudre de champignons	Utpal et <i>al.</i> (2015)
Microalgues (0,5%, 1% et 1,5%)	Fortification de biscuit par la poudre de microalgues (<i>Spiruline platensis</i>)	Shahbazizadeh et <i>al.</i> (2015)
Lentille (5%, 10%, 15% et 20%)	Préparation de biscuit enrichi en poudre des graines de lentilles	Beugré et <i>al.</i> (2014)
Banane et sésame (mélanges de différents pourcentages)	Améliorer la qualité nutritive des biscuits par l'addition de la poudre de banane, et des graines de sésame Etudier l'effet d'enrichissement sur la durée de conservation de biscuit	Loza et <i>al.</i> (2017)
Riz (15% et 30%) Haricots noir entière et pelée (15% et 30%)	Evaluer la qualité des biscuits enrichis en poudre de riz et d'haricot	Bassinello et <i>al.</i> (2011)
Viande de poulet (5%, 10%, 15% 20% et 25%)	Etudier les propriétés Nutritionnelles, physiques, texturales et organoleptiques des biscuits enrichis en poudre de poulet	Bukya et <i>al.</i> (2013)

3.5.2.1.2. Biscuits allégés en sucres

Réduire ou remplacer le taux des sucres dans les biscuits forme un axe de recherche très important. Pour ce faire, le sucre est remplacé par des polyols tels que le mannitol ou le polydextrose (Gallagher *et al.*, 2003; Ansari et Kumar, 2012). Jusqu'à maintenant, les études effectuées autour ce thème sont très limités. Les ingrédients fréquents utilisés dans la préparation de ces biscuits sont : ls pommes de terre et le soja (tableau 5).

Tableau 5 : Biscuits allégés en sucres.

Produits Agro-alimentaires (AA)	Objectifs	Références
Racines tubéreuses	Préparer des biscuits pour les gens diabétiques	Jenkins <i>et al.</i> (2008)
Pois d'Angole (25, 50 et 75%)	Diminuer la teneur de sucre dans les biscuits	Gbenga-Fabusiwa <i>et al.</i> (2018)
Pomme de terre (10, 20 et 30%)	Réduire la teneur de sucre dans les biscuits	Wang <i>et al.</i> (2015)
Feuilles de stevia (15, 20, 25 et 30%) Soja (10, 15, 20 et 25%)	Préparation des biscuits hypocaloriques et riches en protéines	Kulthe <i>et al.</i> (2014)

3.5.2.1.3. Biscuits enrichis en fibres

Pour augmenter le niveau de fibres alimentaires dans les divers produits céréaliers, il pourrait être ajouté, comme un enrichissement, les préparations obtenus à partir des produits des fruits et des légumes (Brodowska *et al.*, 2014). Enrichir les biscuits en fibres alimentaires est un défi, et à ce jour ces biscuits ne sont pas largement acceptés par les consommateurs. Comme de nouvelles sources de fibres deviennent disponibles et le grand intérêt du consommateur par l'alimentation saine, la recherche d'utilisation des fibres comme ingrédients fonctionnelles dans les produits alimentaire devient plus vaste (Ktenioudaki et Gallagher, 2012). Le tableau 6 représente les études effectuées sur l'enrichissement des biscuits par les fibres alimentaires. Les ingrédients les plus utilisés sont (pomme, mangue, orange, date, banane, abricot, figue, framboise, carotte, betterave et chou-fleur) :

Etude bibliographique

Tableau 6 : Enrichissement des biscuits en fibres.

Produits Agro-alimentaires (AA)	Objectifs	Références
Marc d'orange (5, 15 et 25%)	Déterminer l'effet d'enrichissement des biscuits en poudre de marc d'orange sur sa qualité sensorielle	Larrea <i>et al.</i> (2005)
Pelure de mangue (2,5, 5, 7,5 et 10%)	Estimer l'effet d'addition de poudre de pelure de mangue sur la qualité et la conservation de biscuit	Ajila <i>et al.</i> (2008)
Son de blé, pomme, citron et enzyme de Xylanase (mélanges de 0 à 30%)	Etudier l'effet de l'ajout des fibres sur la qualité nutritionnelle de biscuit	Uysal <i>et al.</i> (2007)
Pomme de terre, amidon résistant, inuline et β -glucane (mélanges de 0 à 10%)	Déterminer l'effet de l'ajout des fibres sur la rhéologie de pate, la qualité nutritionnelle et sensorielle de biscuit	Brennan et Samyue (2004)
Orange (pulpe d'orange extrudé)et amidon résistant (mélanges de 20, 40 et 60%)	Etudier les dimensions physiques et l'acceptation des consommateurs	Laguna <i>et al.</i> (2011)
Avoine, orange et pois (mélanges de 0 à 10%)	Etudier l'impact d'ajout des fibres sur les caractéristiques de la pâte à biscuits	Piteira <i>et al.</i> (2006)
Soja, amarante et caroube (mélange de 24,5%) Avoine et pomme (mélange de 16,5%) Inuline (10,5%)	Estimer l'effet d'addition des fibres sur la qualité de biscuit (nutritionnelle et sensorielle)	Vitali <i>et al.</i> (2009)
Châtaigne (20, 40 et 60%)	Préparer des biscuits riches en fibres	Soronja-simovic <i>et al.</i> (2017).
Abricot (noyau) (30%) Pomme (10,20, 30 et 40%) Carotte (10, 15 et 20%)	Etudier l'effet de l'ajout des poudres des noyaux d'abricot et de pomme sur la qualité de biscuit	ÖzboyÖzbaş <i>et al.</i> (2018)
	Etudie l'impact d'addition de poudre de carotte sur les caractéristiques de la farine, la rhéologie de la pâte et la qualité de biscuit	Mukhtar <i>et al.</i> (2016)
Chou blanc (0, 2,5, 5 et 7,5%)	Déterminer l'effet de l'ajout de poudre de chou blanc sur la qualité des biscuits	Gül <i>et al.</i> (2013)
Figue (0, 6, 12 et 18%)	Etudier l'effet de l'addition de la poudre sur la qualité de biscuit	Khapre <i>et al.</i> (2015)
Date et son de blé (mélanges de 10, 20 et 30%)	Etudier la qualité nutritionnelle d'un biscuit additionné de son de blé et de fruits du palmier dattier (<i>Phoenixdactylifera L.</i>)	El-Sharnouby <i>et al.</i> (2012)
Betterave (0, 5, 7, 10, 15 et 20%)	Évaluation nutritionnelle des biscuits enrichis en poudre de betterave	Ingle <i>et al.</i> (2017)
Framboise (25 et 50%)	Enrichir les biscuits en fibres	Gorecka <i>et al.</i> (2010)
Ananas (5, 10 et 15%)	Préparer des biscuits sains Evaluation de la qualité des biscuits enrichis de poudre de (marc) grignons de l'ananas	Sadal <i>et al.</i> (2018)
Orge (0, 30, 40, 50, 60 et 70%)	Déterminer les caractéristiques physiques et sensorielles de biscuits aux pépites de chocolat partiellement substitués à la farine d'orge à différents niveaux.	Frost <i>et al.</i> (2011)
Chou-fleur (10, 15 et 20%)	Etudier la possibilité d'utiliser la farine de chou-fleur dans la fabrication de biscuits	Ribeiro <i>et al.</i> (2015)
Banane (10, 20 et 30%) Gingembre (3 g)	Evaluation de la qualité de biscuit enrichis en poudre de banane et gingembre	Adebayo-Oyetero <i>et al.</i> (2016).

3.5.2.1.4. Biscuits allégés en gras

Les lipides, surtout de forme complexe, sont néfastes pour la santé. Le remplacement de la matière grasse normale dans la recette du biscuit par l'huile de son améliore sa qualité nutritionnelle. L'huile de son est une bonne source d'acides gras polyinsaturés et permet de réduire le cholestérol sanguin (**Gallagher et al., 2003; Ansari et Kumar, 2012**). Le tableau 7 représente quelques travaux publiés autour la réduction ou le remplacement des gras dans la préparation des biscuits. Les ingrédients utilisés dans la préparation des biscuits allégés en gras tels que les racines de tournesol, le soja, le son, le riz, l'avocat, les arachides, les noix de cajou et le sésame :

Tableau 7 : Biscuits allégés en gras.

Produits Agro-alimentaires (AA)	Objectifs	Références
Huile des graines de cresson (5 et 20%)	Etudier l'effet de l'ajout des omégas 3 sur la qualité de biscuit et sa conservation	Umesha et al. (2014)
Graisse végétale habituel hydrogénée (30 et 60%) Fibres végétales (4 et 8%)	Formuler des biscuits sains par l'ajustement de la quantité de graisse et de fibre ajoutés	Laguna et al. (2013)
Graines de tournesol (10 et 30%) Farine d'orge (30 et 50%)	Les graines de tournesol ont considérablement augmenté les teneurs en Se, Zn, Mg et Ca, ainsi que les teneurs en α -tocophérol et en graisse dans les biscuits.	Škrbićet Cvejanov (2011)
Son et riz (mélanges de 25, 50, 75 et 100%)	Remplacer les graisses de la recette biscuit par une huile sanitaire de riz.	Sharif et al. (2005)
Avocat (25, 50 et 75%)	Etudier les propriétés physicochimiques et sensorielles des biscuits fabriqués en remplaçant la graisse de beurre par de l'avocat Etudier les caractéristiques physiques, chimiques et sensorielles des biscuits enrichis.	Mohan et al. (2018)
Arachide	Etude de l'effet de remplacement de graisses habituelles hydrogénées par le beurre d'arachide sur la composition et l'acceptabilité de biscuit	Sadaf et al. (2013)
Noix de cajou (10, 20, 30 et 40%)	Etudier les propriétés nutritionnelles et sensorielles des biscuits enrichis en noix de cajou	Ojinnaka et Agubolum (2013)
Maïs et sésame et maïs (mélanges de farine de blé, de farine de maïs et de graine de sésame : (70:20:10), (65:20:15) et (60:20:20) respectivement).	Estimer la qualité des biscuits fabriqués à partir de farine composée de blé, de maïs et de sésame	Shankar et al. (2017)

3.5.2.1.5. Biscuits enrichis en vitamines

Les vitamines sont des composés très importants pour la santé. Les graines de pseudocéréales telles que le sarrasin, l'amarante, le quinoa ou autres cultures, telles que l'avoine et l'orge, sont des sources riches en vitamines, caractérisées par un effet positif connu sur la santé humaine (**Kalinova et Dadakova, 2009; Brodowska et al., 2014**). La consommation des biscuits enrichis par les vitamines aide à diminuer les

Etude bibliographique

taux sanguins d'homocystéine et de glucose et à réduire les facteurs de risque associés aux maladies cardiaques telles que l'infarctus du myocarde, les accidents vasculaires cérébraux et la thrombose veineuse (Boobier *et al.*, 2006; Ansari et Kumar, 2012). Malgré la diversité des ingrédients riches en vitamines, les études effectuées autour de l'enrichissement des biscuits en vitamines sont très limités (tableau 8).

Tableau 8 : Enrichissement des biscuits en vitamines.

Produits Agro-alimentaire (AA)	Objectif	Références
Huile de palme rouge (pour remplacer la matière grasse dans la recette de biscuit)	Enrichir le biscuit en β - carotène par l'addition d'huile de palme rouge	Van Stuijvenberg <i>et al.</i> (2001).
Pastèque (2,5, 5 et 7,5%)	Estimer l'effet de l'addition de poudre de pelure de pastèque sur la qualité de biscuit.	Olaitan <i>et al.</i> (2017)

3.5.2.1.6. Biscuits enrichis en minéraux

L'enrichissement des biscuits en éléments minéraux forme un axe de recherche très important. Le tableau 9 représente les études effectuées autour de ce sujet. Les ingrédients les plus utilisés dans l'enrichissement des biscuits en minéraux sont : la citrouille, la grenade, la tomate, la caroube, le fenugrec et la lentille.

Tableau 9 : Enrichissement des biscuits en minéraux.

Produits Agro-alimentaires (AA)	Objectif	Références
Citrouille cannellée (5, 10, 15, 20 et 25%)	Préparer des biscuits riches en protéines et minéraux	Giami <i>et al.</i> (2005)
Grenade (1,5, 3, 4,5, 6 et 7,5%)	Enrichir les biscuits en minéraux et protéines	Ismail <i>et al.</i> (2014)
Tomate (5, 10, 15, 20 et 25%)	Etudier les propriétés physicochimiques des cookies enrichis à la tomate	Mudasir et Ahsan (2015)
Pastèque (2,5, 5 et 7,5%)	Estimer l'effet de l'addition de poudre de pelure de pastèque sur la qualité de biscuit.	Olaitan <i>et al.</i> (2017)
Caroube (10 et 20%)	Évaluation nutritionnelle des biscuits de blé enrichis avec poudre de caroube	Kamal <i>et al.</i> (2013)
Gingembre, noix de sarrasin et seigle (mélanges de différents pourcentages)	Développer une formulation de biscuit au gingembre et aux noix dans laquelle la farine de blé est partiellement substituée avec de la farine de sarrasin et seigle pour obtenir un produit acceptable sur le plan nutritionnel.	Bojana <i>et al.</i> (2012)
Lentilles (5, 10 et 15%)	Evaluation de qualité nutritionnelle et sensorielle des biscuits enrichis en poudre de lentille	Mahgoub <i>et al.</i> (2015)
Noix de tigre et lait de noix (mélanges de différents pourcentages)	Etudier les propriétés des biscuits enrichis en poudre de noix de tigre	Akajiaku <i>et al.</i> (2018)
Fenugrec (5 et 10%)	Évaluation nutritionnelle et biologique des biscuits au blé complétés par une plante de fenugrec pour améliorer le régime alimentaire des rats anémiques (fer)	Mahmoud <i>et al.</i> (2012)
Figue de Barbarie (2,5%, 5% et 7,5%)	Etudier la qualité de biscuit enrichis en figue barbaries et son effet sur l'oxydation des lipides de biscuits	Msaddak <i>et al.</i> (2015)

3.5.2.1.7. Biscuits enrichis en polyphénols

Les polyphénols sont des composés très intéressants et ont des effets sanitaires considérables. Les polyphénols des fruits et des légumes présentent des propriétés bénéfiques pour la santé et peuvent jouer un rôle clé dans l'amélioration de la santé et la prévention contre des maladies chez certaines groupes de populations. C'est la raison pour laquelle on utilise les fruits, les légumes ou leurs produits dans la fabrication des produits céréaliers, comme source supplémentaire des composés biologiquement actifs (Brodowska *et al.*, 2014). Le tableau 10 représente les travaux publiés autour de l'enrichissement des biscuits en polyphénols. Les ingrédients les plus utilisés sont les fruits tels que les framboises, les cerises et les raisins.

Tableau 10 : Enrichissement des biscuits en polyphénols.

Produits Agro-alimentaires (AA)	Objectif	Références
Thé vert (150, 200 et 300 mg d'extrait/100 g de farine)	Etude de la stabilité des catéchines du thé dans le processus de fabrication des biscuits.	Sharma et Zhou (2011)
Graines de chia (5, 10, 15 et 20 %)	Enrichir les biscuits en polyphénols	Mesías et al. (2016)
Graines de lin	Préparer des biscuits riches en polyphénols	Khouryieha et Aramouni (2012).
Graines de lin (20%)	Enrichir les biscuits en polyphénols	Cukelj et al. (2017).
Graines de lin (5, 10, 15, 20, 25 et 30%)	Addition des polyphénols au biscuit	Jang et Xu (2009).
Marc de raisin (5, 10 et 15%) Graines de raisin (5, 7,5 et 10%)	Etudier l'effet des farines de raisin sur la qualité des biscuits Préparer des biscuits riches en polyphénols	Acun et Gül, (2014)
Soja et curcuma (mélanges de différents pourcentages)	Optimiser les niveaux d'ingrédients (farine de blé, soja et curcuma) utilisés dans la préparation de biscuit enrichis à l'aide de la méthodologie de surface de réponse Estimer la qualité de biscuit enrichis en soja et curcuma	Adegoke et al. (2017)
Baies noires et rouges, mûres, framboises, myrtilles, cerises aigres et raisin (20, 28 et 45 ml)	Améliorer la qualité nutritionnelle des biscuits et les enrichir par l'anthocyane (antioxydant naturel)	Pasqualone et al. (2013).

3.5.2.1.8. Biscuits enrichis en antioxydants

Il existe une demande croissante pour l'utilisation des antioxydants naturels dans les aliments, en particulier dans les produits de boulangerie. Certains antioxydants naturels tels que l' α -tocophérol, la β -carotène et l'acide ascorbique étaient déjà utilisés dans les produits de boulangerie. Ces antioxydants naturels se sont révélés efficaces pour augmenter la durée de conservation des produits de boulangerie. L'activité antioxydante des extraits de plantes tels que le garcinia, la curcumine, les vanillines et la menthe a été examinée, mais les études sur leur rôle dans les produits de boulangerie sont limitées. Il y a donc de vastes possibilités d'études approfondies dans cette direction (Nanditha et Prabhasankar, 2009). Le tableau 11 représente les recherches effectuées sur l'enrichissement des biscuits par les antioxydants. Les ingrédients fréquents utilisés sont : la menthe, le raisin, l'orge et la grenade:

Tableau 11 : Enrichissement des biscuits en antioxydants.

Produits Agro-alimentaires (AA)	Objectifs	Références
Gras végétal(β -Carotène) (différents pourcentages)	Estimer l'effet d'ajout de β -carotène sur l'oxydation des gras des biscuits	Rogers <i>et al.</i> (1993).
Raisins secs (2% d'extrait) Plante d'Amla (1% d'extrait) Feuilles de pilon (1% d'extrait)	Etudier l'effet d'ajout des poudres des plantes médicinales sur l'oxydation des lipides des biscuits	Reddy <i>et al.</i> (2005)
Menthe verte (0,5 et 1%) Menthe poivrée, menthe basilic et plante de marjolaine (0,01, 0,02 et 0,03% de l'extrait de chaque plante)	Déterminer l'effet de l'addition de poudres des plantes sur la stabilité des graisses des biscuits sablés	Bassiouny <i>et al.</i> (1990).
Menthe (1% de poudre, 500 mg d'extrait)	Etudier la qualité des biscuits enrichis en poudre de menthe	Bajaj <i>et al.</i> (2006).
Orge (10, 20, 30 et 40%)	Préparer un Biscuit riche en Antioxydants et fibres	Gupta <i>et al.</i> (2011)
Orge (25, 50 et 75 %)	Préparer un biscuit riche en Antioxydants et fibres	Sharma et Gujral, (2014)
Fruit de chêne (<i>QuercusBranti</i>) (15, 30 et 40%)	Préparer un biscuit riche en antioxydants	Parsaei <i>et al.</i> (2018).
Grenade (2,5, 5, 7,5 et 10% de poudre et 10, 20, 30 et 50% de jus)	Ajouterles poudre et le jus de grenade aux biscuits pour les enrichir en antioxydants Etudier l'effet d'enrichissement sur la rhéologie de la pate et les propriétés sensorielles des biscuits	Prithwa et Sauryya, (2015)

Etude expérimentale

Etude expérimentale

Chapitre 01: Matériel et méthodes

➤ Démarche de la thèse

Dans ce travail nous avons préparé des biscuits enrichis en 4 formulations :

- Biscuits enrichis en poudre des glands de chêne naturels ;
- Biscuits enrichis en poudre des glands de chêne fermentés ;
- Biscuits enrichis en poudre des glands de chêne germés ;
- Biscuits enrichis en poudre des graines de chardon marie.

Aussi, nous avons étudié l'effet des différents traitements technologiques sur la qualité des biscuits produits :

- Durée de pétrissage de la pâte de biscuit : pendant 5, 10 et 15 minutes ;
- Mode de cuisson de biscuit : four électrique et micro-onde.

Cette étude entre dans le cadre de la valorisation des glands de chêne vert et des graines de chardon marie. L'objectif principal est de substituer la farine de blé tendre par les poudres nutritives des matières végétales précédentes aux trois pourcentages (10, 20 et 30%) dans la préparation des biscuits, juger le degré d'acceptabilité des biscuits préparés sur le plan organoleptique et analyser les propriétés physicochimiques de ces biscuits. En plus, étudier l'effet de quelques traitements technologiques au cours du procédé de préparation sur la qualité nutritive des biscuits enrichis (figure 10).

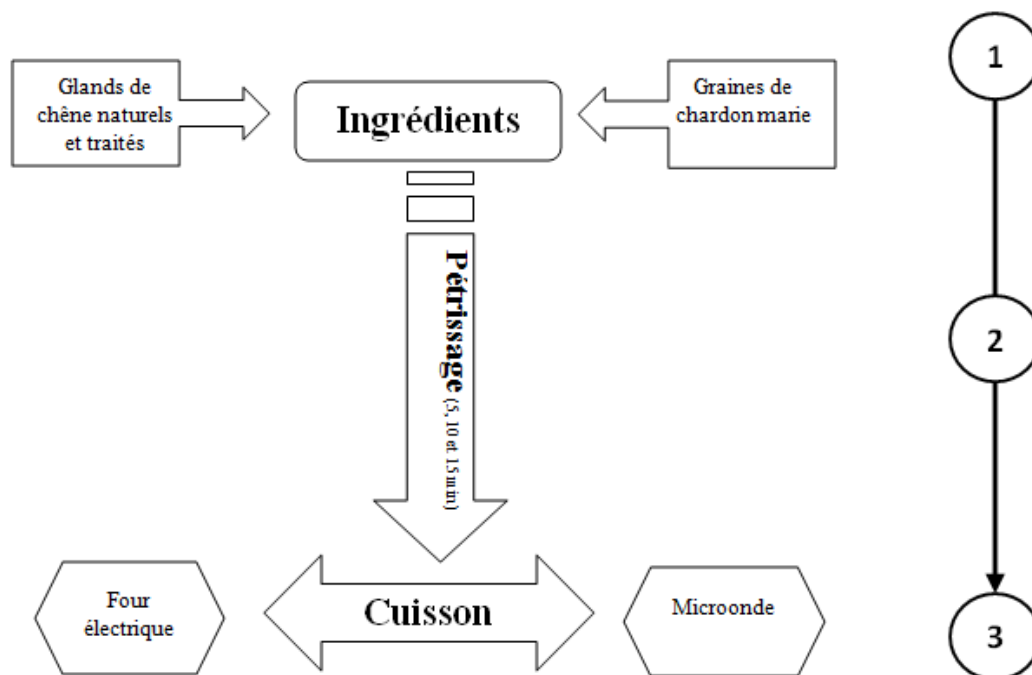


Figure 10 : Démarche générale et différentes parties de la thèse.

La démarche du travail expérimental consiste à utiliser des nouvelles poudres pour préparer des biscuits enrichis (1), de traiter ces biscuits par différentes durées de pétrissage (2) et par deux modes de cuisson (3) pour caractériser leur qualité finale.

1. Matériel

1.1. Matières végétales

Les matières végétales utilisées pour l'enrichissement des biscuits sont d'origine sauvage. Ces matières ont été collectées pendant leurs périodes de récolte et identifiées au département des sciences agronomiques de l'université de Batna 1, puis conservées à 4°C.

1.1.1. Le chêne vert (*Quercus ilex* L.)

Les glands de chêne (*Quercus ilex* L.) ont été récoltés au cours du mois d'Octobre 2016 dans la région d'Ichamoul à la wilaya de Batna, Algérie, où les arbres de ce chêne se développent spontanément.



Figure 11 : Glands de chêne (*Quercus ilex*).

1.1.2. Les graines de chardon marie (*Silybum marianum* (L) Gaertn)

Les graines de chardon marie (*Silybum marianum* (L) Gaertn) ont été collectées dans la région de Bouhmar, à la wilaya de Batna, Algérie, pendant la saison d'Automne 2017, où les plantes de chardon marie se développent spontanément.



Figure 12 : Graines de chardon marie (*Silybum marianum*).

1.2. Matières premières

- Farine : la farine employée pour la préparation des biscuits est celle de blé tendre ;
- Eau distillée : l'eau employée est l'eau distillée préparée au laboratoire sciences des aliments (LSA) ;

- Poudres : obtenues à partir des glands de chêne naturels, fermentés et germés et des graines de chardon marie.

Tous les ingrédients utilisés dans la préparation des biscuits ont été achetés à partir de supermarché de la wilaya de Batna, Algérie.

1.3.Appareillages et matériels

1.3.1. Appareillages et matériels pour la préparation des biscuits

Les principaux appareils et matériels utilisés sont :

- Balance digitale électronique (type : *Sofyaldeco*) ;
- Batteur électrique (type *Sayona*) ;
- Batteur mélangeur (type : *Food Mixer LF B20*) ;
- Emporte-pièce en inox de 50 mm de diamètre ;
- Film alimentaire ;
- Four ventilé (type : *Wellborn EB-F600A-4*, muni de 4 plateaux);
- Microonde (GE 107Y SAMSUNG) avec une fréquence de 2450 MHz et une puissance maximale de 1200W ;
- Papier de cuisson ;
- Récipient.

1.3.2. Appareillages et matériels pour les analyses physico-chimiques

Les principaux appareils et matériels utilisés sont :

- Agitateur plaque chauffante (type : *IKA-Werk*) ;
- Agitateur vortex (type: *Janke et Kunkel IKA Labortechnik VF2*) ;
- Appareil de HPLC analytique (type : *JASCO*, équipée de pompes *HPLC Jasco PU-2080* et d'injecteur Rheodyne de type 7725 avec une boucle de 20 μ L) ;
- Appareil de Kjeldahl (type : *Gerhardt*) ;

- Bain marie (type: *Memmert*) ;
- Balance à précision (type : *Radwag AS 220, R2*) ;
- Centrifugeuse (type : *Sigma 3 K 20*) ;
- Colorimètre (type : *Konica Minolta CR-10*) ;
- Dessiccateur et creusets ;
- Distillateur (type: *Buchi Distillation unit K-360*) ;
- Etuve (type: *Memmert D 06060*) ;
- Etuve ventilée (type: *Memmert*) ;
- Evaporateur rotatif, Rotavapor (type: *Janke et Kunkel, IKA-Werk*) ;
- Four à moufle (type : *Heraeus MR-170*) ;
- Matras de minéralisation ;
- pH-mètre (type : *Sension*) ;
- Pied à coulisse numérique, type : *Ingco Digital Cliper*, de sensibilité de 0,01 mm ;
- Polarimètre (type : *Aint Pitrus*) ;
- Pompe à vide (type: *Leybold-Heraeus S-24*) ;
- Rampe de minéralisation (type : *Buchi Digestion unit K-424*) ;
- Spectrophotomètre visible (type: *Shimadzu UV-120-01*) ;
- Thermomètre.

Toutes matières premières et végétales ont été conservées à 4 °C jusqu'au moment des essais. Tous les réactifs et les produits chimiques utilisés dans les travaux expérimentaux étaient de qualité analytique et ont été achetés auprès de Sigma Co. (St. Louis, MO, USA).

2. Méthodes

La partie expérimentale est réalisée en 13 étapes :

- Caractérisation morphologique des matières végétales ;
- Préparation des poudres d'enrichissement ;
- Détermination des propriétés fonctionnelles des poudres préparées ;
- Caractérisation physicochimiques des poudres d'enrichissement ;
- Préparation des biscuits enrichis ;

- Caractérisation physicochimiques des biscuits préparés ;
- Détermination des dimensions physiques des biscuits enrichis ;
- Analyse sensorielle des biscuits préparés ;
- Traitements technologiques des biscuits préparés (pétrissage et cuisson) ;
- Détermination de la qualité nutritive des biscuits pétris pendant différentes durée ;
- Détermination des dimensions physiques des biscuits pétris pendant différentes durées ;
- Caractérisation physicochimiques des biscuits cuits au four électrique et au microonde ;
- Modélisation de changement de la couleur des biscuits cuits au four électrique et au microonde.

2.1. Détermination des propriétés morphologiques des matières végétales

2.1.1. Glands de chêne

Les glands de chêne ont été caractérisés physiquement en déterminant le nombre des glands dans 1 kg, la masse de 1000 glands et le rapport entre l'écorce et le gland pelé (**Rakic et al., 2006**). La longueur et le diamètre ont été mesurés pour 100 glands sélectionnés de manière aléatoire en utilisant un pied à coulisse (**Fos'hat et al., 2011**; **Galvan et al., 2011**).

2.1.2. Graines de chardon marie

Le nombre des graines dans 100 g a été déterminé. La longueur et la largeur des graines ont été mesurées par le pied à coulisse. Le ratio d'écorce et de graine décortiquée ont été déterminés (**Nergiz et Domnez, 2004**). Le poids des graines de chardon marie a été estimé (**Kadri et al., 2015**).

2.2. Traitements des glands de chêne par la fermentation et la germination

Les glands de chêne ont été traités par les procédés de fermentation et de germination conformément à **Khatab et Arntfield (2009)** et à **Sangronis et Machado (2007)**, respectivement, selon la figure 13. La figure 14 représente les glands de chêne germés.

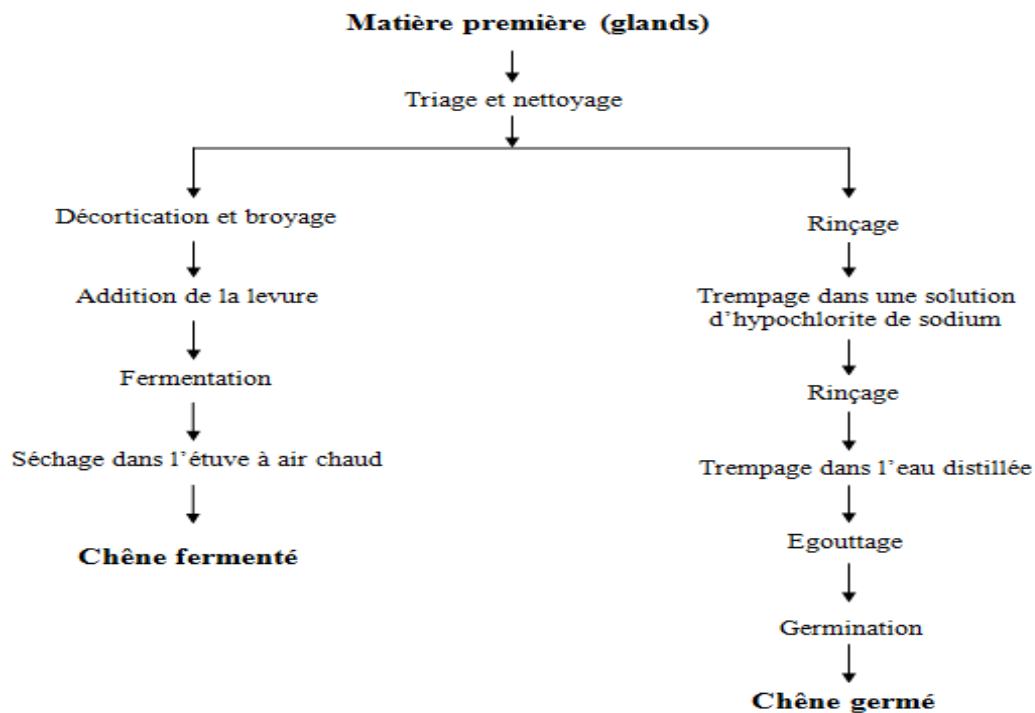


Figure 13 : Traitements de fermentation et germination des glands de chêne.



Figure 14 : Glands de chêne germés.

2.3. Préparation des poudres d'enrichissement

2.3.1. Poudre des glands de chêne naturels et traités

Les glands naturels et traités ont été séchés dans une étuve ventilée, broyés par un broyeur (**Sangronis et Machado, 2007**) et tamisés pour obtenir une poudre fine et

homogène (figure 15). Les poudres ont été stockées à 4 °C jusqu'à l'analyse (**Galvan et al., 2011**).

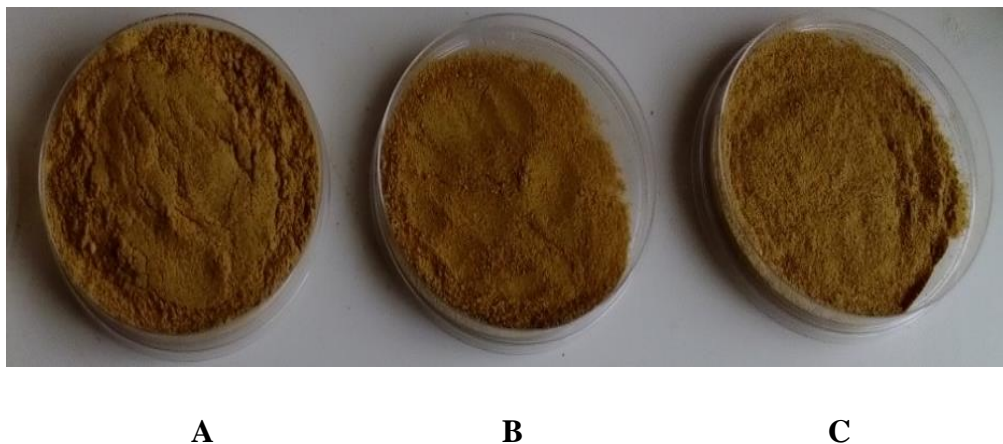


Figure 15 : Poudres des glands de chêne naturels (A), fermentés (B) et germés (C).

2.3.2. Poudre des graines de chardon marie

Les graines de chardon marie ont été torréfiées dans un four électrique (**Pandey et Awasthi, 2015**). Ensuite, les graines grillées ont été broyées et tamisées pour obtenir une poudre fine et homogène (figure 16). La poudre a été conservée à 4 °C jusqu'à l'analyse (**Galvan et al., 2011**).



Figure 16 : Poudre des graines de chardon marie.

2.4. Détermination des propriétés fonctionnelles des poudres

2.4.1. Densité apparente (DA)

La densité apparente (DA) est déterminée selon la méthode décrite par **Chinma et al. (2009)**. Une éprouvette graduée (10 ml), préalablement pesée (m_0 (g)) est

remplie de poudre jusqu'à un volume connu V (ml), puis repesée (m_1 (g)). La densité est calculée selon l'équation suivante :

$$DA \left(\frac{\text{g}}{\text{cm}^3} \right) = \frac{(m_1 - m_0)}{V} \quad (1)$$

2.4.2. Capacité d'absorption d'eau (CAE) et d'huile (CAH)

Les méthodes décrites par **Zouari et al. (2016)** ont été appliquées. Brièvement, 1 g de poudre (m_0) est mélangée avec 10 ml d'eau distillée ou d'huile végétale, la suspension est mélangée au vortex puis laissée reposer pendant 30 min. Après centrifugation (5000 trs/30 min), le surnageant est éliminé et le culot est récupéré puis séché dans une étuve à 105 °C pendant 30 minutes. La masse de culot séché est mesurée (m_1 (g)) (**Zouari et al., 2016; Zidani, 2019**).

La capacité d'absorption d'eau (CAE) ou la capacité d'absorption d'huile (CAH) est exprimés en g d'eau ou d'huile absorbé par g de la poudre selon la formule suivante :

$$CAE \left(\frac{\text{g}}{\text{g}} \right) = \frac{m_1 - m_0}{m_0} \quad (2)$$

2.4.3. Capacité émulsifiante (CE)

La capacité émulsifiante (CE) a été déterminée selon **Elkhalifa et Bernhardt (2010)**. Une suspension de 7% est préparée. 5 ml de cette suspension sont prélevés puis ajoutés à 5 ml d'huile végétale. Le mélange est homogénéisé pendant 5 min au vortex, puis centrifugé à 1200 trs/min pendant 5 min. Après centrifugation, une couche d'émulsion est formée, la hauteur d'émulsion (L_1 (cm)) et celle du contenu total (L_0 (cm)) est mesurée (**Elkhalifa et Bernhardt, 2010; Zidani, 2019**). La capacité émulsifiante (CÉ) est calculée comme suit :

$$CE (\%) = \frac{L_1}{L_0} \times 100 \quad (3)$$

2.4.4. Capacité de gonflement (CG)

La méthode décrite par **Mateos-Aparicio et al. (2010)** et **Ouazib (2016)** a été utilisée pour déterminer la capacité de gonflement des poudres préparées. Dans une éprouvette graduée, 100 mg de poudre (P (g)) sont hydratés dans un 10 ml d'eau distillée, puis on mesure le volume (V_0 (ml)) occupé par le mélange. Après 18 h, le volume final (V_1 (ml)) est mesuré. La capacité de gonflement (CG) est déterminée par la formule suivante :

$$CG (\%) = \frac{(V_1 - V_0)}{P} \times 100 \quad (4)$$

2.4.5. Capacité moussante (CM)

La capacité moussante est déterminée selon la méthode décrite par **Elkhalifa et Bernhardt (2010)** et **Ouazib (2016)**. 1 g de la poudre est dispersé dans 50 ml (V_I (ml)) d'eau distillé puis fouetté à l'aide d'un batteur pendant 1 min. Le volume final (V_F (ml)) est mesuré dans une éprouvette graduée. La capacité moussante (CM) est calculée selon la formule suivante :

$$CM (\%) = \left[\frac{(V_F - V_I)}{V_I} \right] \times 100 \quad (5)$$

2.5. Caractérisations physicochimiques des poudres

2.5.1. Détermination de la teneur en eau

✓ Principe

La détermination de la teneur en eau est effectuée selon la méthode 44-19.01 de l'**AACC (2000b, 2012)**. On procède à une dessiccation de l'échantillon à analyser dans une étuve à la température de $103 \pm 2^\circ\text{C}$ jusqu'à l'obtention d'une masse pratiquement constante. Pour éviter toute reprise d'humidité, il convient d'utiliser un dessiccateur (**Saadoudi, 2019**).

La teneur en eau est la différence entre le poids de l'échantillon avant et après la dessiccation lorsque leur poids soit constant.

✓ Mode opératoire

- Sécher les capsules vides dans l'étuve pendant 15 minutes ;
- Laisser refroidir au dessiccateur ;

Etude expérimentale

- Tarer et peser 5 g de l'échantillon ;
- Introduire les capsules dans l'étuve à $103 \pm 2^\circ\text{C}$;
- Sécher jusqu'à l'obtention d'un poids constant ;
- Laisser refroidir les capsules avant de les peser dans un dessiccateur et évaluer la quantité d'eau évaporée.

✓ Expression des résultats

$$H (\%) = \frac{M_1 - M_2}{P} \times 100 \quad (6)$$

Où :

H (%) : humidité.

M_1 (g) : masse de la capsule + l'échantillon avant étuvage.

M_2 (g) : masse de l'ensemble après l'étuvage.

P (g) : masse de la prise d'essai.

La teneur en matière sèche (MS) est calculée selon la relation suivante :

$$\text{Matière sèche (\%)} = 100 - H (\%) \quad (7)$$

2.5.2. Détermination de la teneur en cendres

✓ Principe

La teneur en cendres est déterminée selon la méthode 930.22 de l'**AACC (2000)**. Le dosage des cendres est basé sur la destruction de la matière organique par l'incinération dans un four à moufle (**Saadoudi, 2019**).

✓ Mode opératoire

- Dans un creuset préalablement taré, peser 5 g de l'échantillon ;
- Faire passer les creusets au four à une température de 550°C jusqu'à l'obtention d'un résidu blanchâtre ;
- Retirer les creusets et laisser refroidir au dessiccateur ;
- Peser les creusets.

✓ Expression des résultats

$$MO (\%) = \frac{M_1 - M_2}{P} \times 100 \quad (8)$$

Où :

MO (%) : matière organique.

M₁ (g) : masse de la capsule + l'échantillon.

M₂ (g) : masse de la capsule + cendres.

P (g) : masse de la prise d'essai.

La teneur en cendres est calculée par la formule suivante :

$$\text{Cendres (\%)} = 100 - \text{MO} \quad (9)$$

2.5.3. pH

Les échantillons ont été caractérisés pour le pH selon la méthode n° 02-52 de l'**AACC (2000)**_b. En utilisant un pH-mètre avec une électrode combinée BlueLine 11 (*Schott Geräte GmbH, Mainz, Allemagne*).

✓ Principe

La détermination en unité pH de la différence de potentiel existant entre deux électrodes prolongés dans une solution d'échantillon broyé.

✓ Mode opératoire

- Peser 10 g d'échantillon broyé ;
- Ajouter 25 ml d'eau distillée à l'échantillon ;
- Agiter pendant une demi-heure ;
- Mesurer le pH par le pH mètre (**Amellal, 2008**).

2.5.4. Dosage de l'amidon (Méthode polarimétrique d'Ewers)

✓ Principe

La teneur totale en amidon a été déterminée par méthode polarimétrique (**Correia et al., 2009; Korus et al., 2015**). L'amidon est dispersé dans une solution d'acide chlorhydrique et le pouvoir rotatoire de la solution obtenue est déterminé par le polarimètre (**AFNOR, 1991**).

✓ Réactifs

- Acide chlorhydrique ;
- Solution de Carrez I : dissoudre l'acétate de zinc 21,9 g Zn (CH₃COO)₂ 2H₂O ou 23,8 g de Zn (CH₃COO)₂ 3H₂O et 3 g d'acide acétique glacial dans 100 ml d'eau distillée ;

Etude expérimentale

- Solution de Carrez II : dissoudre du ferrocyanure de potassium, 10,6 g de $K_4Fe(CN)_6 \cdot 3H_2O$ dans 100 ml d'eau distillée ;
- Ethanol.

✓ Mode opératoire

• Détermination du pouvoir rotatoire totale (P)

Peser une prise d'essai de 2,5 g de l'échantillon broyé et l'introduire dans un ballon jaugé de 100 ml. Ajouter 25 ml d'acide chlorhydrique (0,128%), agiter pour obtenir une bonne répartition de la prise d'essai et ajouter à nouveau 25 ml d'acide chlorhydrique. Plonger le ballon dans un bain d'eau bouillante, durant les trois premières minutes qui suivent, agiter énergiquement et régulièrement pour éviter la formation d'agglomérats. Après 15 minutes exactement, retirer le ballon du bain, y ajouter 30 ml d'eau froide et refroidir immédiatement jusqu'à 20°C.

Ajouter 5 ml de solution de Carrez I et agiter pendant une minute. Ajouter ensuite 5 ml de solution de Carrez II et agiter à nouveau pendant une minute. Compléter au volume avec l'eau. Homogénéiser et filtrer. Si le filtrat n'est pas parfaitement limpide, recommencer l'analyse en utilisant une plus grande quantité des solutions de Carrez I et Carrez II. Mesurer ensuite le pouvoir rotatoire de la solution dans un tube de 200 mm au polarimètre.

• Détermination du pouvoir rotatoire (P') des substances soluble dans l'éthanol à 40 %

Peser 2,5 g de l'échantillon, l'introduire dans un ballon jaugé de 100 ml et ajouter 80 ml d'éthanol. Laisser le ballon en attente durant 1 heure à la température ambiante, au cours de ce laps de temps, procéder 6 fois à une agitation de façon que la prise d'essai soit bien mélangée à l'éthanol. Homogénéiser et filtrer l'ensemble. Pipeter 50 ml du filtrat dans un erlenmeyer de 250 ml, ajouter 2ml d'acide chlorhydrique et agiter l'ensemble. Clarifier l'échantillon en ajoutant la quantité nécessaire de Carrez I et II, compléter au volume avec de l'eau pour atteindre 100 ml, homogénéiser, filtrer et mesurer le pouvoir rotatoire par le polarimètre.

✓ Expression des résultats

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

$$\text{Taux d'amidon (\%)} = 200 \times (P - P')[\alpha] \quad (10)$$

Où :

P : Pouvoir rotatoire optique total en degrés d'angle ;

P': Pouvoir rotatoire optique en degrés d'angle des substances solubles dans l'éthanol ;

[α]: Pouvoir rotatoire spécifique de l'amidon pur (+ 184 : amidon de la farine de blé).

2.5.5. Dosage du gluten

✓ Principe

Le dosage du gluten repose sur son insolubilité dans l'eau chargée de sel et sur la propriété qu'il possède de s'agglomérer lorsqu'on le malaxe sous un courant d'eau qui élimine les autres constituants. Puis, la masse plastique est pesée (AACC, 2000)^b.

✓ Mode opératoire

- Peser 25 g d'échantillon ;
- Ajouter 15 ml d'eau de robinet salé à 2% ;
- Mélanger le tout à la main de façon à avoir un pàton ;
- Laisser reposer 5 minutes ;
- Pétrir le pàton à la main pendant 1 min, ensuite le laisser 15 min dans un béccher remplis d'eau ;
- Une fois cette durée terminée, malaxer le pàton sous un fil d'eau, au-dessus d'un tamis. Au fur et à mesure, éliminer le lait d'amidon qui se forme, jusqu'à ce que l'eau de lavage devienne plus claire;
- Récupérer les morceaux de gluten qui peuvent éventuellement tomber sur le tamis, après essorer fortement le gluten, jusqu'à ce qu'il commence à y adhérer ;
- Peser rapidement le gluten humide.

✓ Expression des résultats

Le taux de gluten (humide) est calculé comme suit :

$$G (\%) = \frac{M_1}{P} \times 100 \quad (11)$$

Où:

M_1 (g) : masse de gluten ;

P (g) : masse de la prise d'essai.

2.5.6. Détermination de la teneur en protéines

✓ Principe

Le dosage des protéines par la méthode de Kjeldahl est réalisé par la détermination de l'azote total selon la méthode N.F. V03-050 de l'**AFNOR (1991)**. L'azote total est dosé après l'incinération, ce dosage est basé sur la transformation de l'azote organique en sulfate d'ammonium sous l'action de l'acide sulfurique en présence d'un catalyseur, et dosé après le déplacement en milieu alcalin et distillation sous forme d'ammonium (**Saadoudi, 2019**). La teneur en protéines est déterminée à partir du taux de l'azote total multiplié par le coefficient de conversion de l'azote total en protéines (**AFNOR, 1991**).

✓ Réactifs

- Acide sulfurique concentré (95-98%) ;
- Catalyseurs (sulfate de potassium « K_2SO_4 » et l'oxyde mercurieux (HgO)) ;
- Acide borique à 4% ;
- Indicateur coloré de rouge méthyle et de vert de bromochrésol (dissoudre 0,2 g de rouge de méthyle et diluer à 100 ml dans l'éthanol (95%), ensuite dissoudre 1 g de vert de bromochrésol et diluer à 500 ml dans l'éthanol (95%), puis mélanger 1 volume de la solution de rouge de méthyle avec 5 volumes de la solution de vert de bromochrésol) ;
- La soude à 45% ;
- Acide chlorhydrique à 0,1 N pour le titrage.

✓ Mode opératoire

Avant de procéder au dosage de l'azote total, l'échantillon doit subir une minéralisation.

• Minéralisation

- Introduire dans un matras de minéralisation 2 g de l'échantillon ;
- Ajouter une pincée (0,7 g) d'oxyde de mercureux et 15 g de sulfate de potassium ;
- Ajouter 25 ml d'acide sulfurique concentré ;
- Ajouter un morceau de paraffine pour éviter le phénomène de barbotage ;
- Utiliser un chauffage progressif, d'abord une attaque à froid pendant 15 minutes jusqu'à l'apparition de vapeur blanche d'anhydride sulfurique,

puis le chauffage est rendu plus énergique (attaque à chaud) pendant 4 à 5 heures ;

- Après décoloration complète, la solution est refroidie à 25 °C par l'ajout de 200 ml d'eau distillée.

- **Distillation**

- Ajouter 75 ml de la solution de soude minéralisée ensuite distiller ;
- Le dégagement d'ammonium est récupéré dans 50 ml de solution d'acide borique contenant l'indicateur coloré ;
- Arrêter la distillation après avoir récupéré 150 ml du distillat (volume total environ 200 ml) ;
- Doser l'excès d'ammonium par l'acide chlorhydrique à 0,1 N.

- ✓ **Expression des résultats**

La teneur en azote total est déterminée par la formule suivante :

$$N (\%) = \frac{1,4007 \times (V_e - V_b) \times N}{m} \times 100 \quad (12)$$

Où :

V_e (ml) : Volume d'acide chlorhydrique utilisé pour le titrage de l'échantillon ;

V_b (ml) : Volume d'acide chlorhydrique utilisé pour le titrage de témoin ;

N : normalité de la solution d'acide chlorhydrique (0,1 N) ;

M (g) : masse en g de la prise d'essai.

La teneur en protéine est calculée selon la formule suivante :

$$\text{Protéine (\%)} = N (\%) \times 6,25 \quad (13)$$

Où :

6,25 : Facteur de conversion c'est le taux moyen d'azote des protéines (16 g d'N/100g de protéines) ;

N (%) : Pourcentage d'azote total (**Saadoudi, 2019**).

2.5.7. Dosage des fibres

- ✓ **Principe**

Les fibres constituent le résidu organique obtenu après deux hydrolyses successives (en milieu acide et en milieu alcalin) suivie par une complexation avec l'éthylène diamine tétra acétique (EDTA) (**Issar, 2011; Zidani, 2019**).

✓ Réactif

- H₂SO₄ (0,3 N) ;
- NaOH (1,5 N) ;
- Ethylène diamine tétra acétique (EDTA) ;
- Acétone à 99% ;
- Ethanol à 99,8%.

✓ Mode opératoire

- Peser dans le ballon 0,2 à 1 g de l'échantillon préalablement broyé ;
- Ajouter 50 ml de H₂SO₄ (0,3 N) ;
- Chauffer à douce ébullition pendant 30 minutes et agiter doucement toutes les 5 minutes en évitant que la matière adhère aux parois du ballon ;
- Ajouter par le haut du réfrigérant 25 ml de NaOH (1,5 N) ;
- Chauffer de nouveau pendant 25 minutes ;
- Mettre une pincée (environ 0,5 g) d'EDTA et laisser au feu pendant 5 minutes ;
- Filtrer à chaud au creuset filtrant de porosité 2 ;
- Laver avec 25 ml de H₂SO₄ (0,3 N) puis avec 3 portions de 50 ml d'eau distillée, ensuite 25 ml d'éthanol et enfin 25 ml d'acétone ;
- Sécher le creuset à l'étuve à 130 °C pendant 2 h ;
- Laisser refroidir au dessiccateur et peser ;
- Porter au four à moufle et incinérer à 400 °C pendant 2 h ;
- Laisser refroidir à nouveau au dessiccateur et peser (**Zidani, 2019**).

✓ Expression des résultats

$$\text{Fibres (\%)} = \frac{M_1 - M_2}{M} \times 100 \quad (14)$$

Où :

M₁ (g) : masse du creuset + matière après séchage à l'étuve.

M₂ (g) : masse du creuset + matière après incinération au four.

M (g) : masse de l'échantillon.

2.5.8. Détermination de la teneur en polyphénols totaux

✓ Principe

Le dosage des polyphénols par la méthode utilisant le réactif de Folin-ciocalteu. Les polyphénols sont estimés par la méthode de Folin Ciocalteu. Ce dosage repose sur le réactif de Folin Ciocalteu (couleur jaune) qui est constitué par un mélange d'acide phosphotungstique et d'acide phosphomolybdique. Lorsque les polyphénols sont oxydés, ils réduisent le réactif Folin-Ciocalteu en un complexe ayant une couleur bleue constitué d'oxyde de tungstène et de molybdène. L'intensité de la couleur est proportionnelle aux taux des composés phénoliques oxydés (Rakic et al., 2006; Ghaderi-Ghahfarrokhi et al., 2017).

✓ Réactifs

- Méthanol ;
- Acide gallique ;
- Réactif de Folin ciocalteu et carbonate de sodium à 7,5%.

✓ Mode opératoire

- Introduction de 200 µl de la solution de l'acide gallique à différentes concentrations dans les tubes d'une première série et 200 µl de l'extrait méthanolique (dix grammes d'échantillon ont été mis en suspension dans 5 ml d'eau : méthanol (70:30)) dans les tubes d'une deuxième série ;
- Ajouter 1 ml de réactif de Folin Ciocalteu dilué 10 fois ;
- Après 4 minutes, ajouter 800 µl de carbonate de sodium à 7,5% ;
- Laisser incuber pendant 2 heures à température ambiante à l'abri de la lumière ;
- Le blanc est représenté par 200 µl de solvant méthanol brut, additionnée de 1 ml de réactif de Folin Ciocalteu et 800 µl de carbonate de sodium à 7,5 % ;
- La lecture des absorbances est faite à 765 nm.

Les concentrations des polyphénols sont déduites à partir des gammes d'étalonnage établies avec l'acide gallique (0-50 µg/ml) (voir annexe 1) (Tejerina et al., 2011; Saadoudi, 2019).

2.5.9. Couleur

L'espace couleur $L^* a^* b^*$ (également appelé CIELAB) est actuellement l'un des plus populaires espaces pour mesurer la couleur de l'objet et est largement utilisé dans

Etude expérimentale

pratiquement tous les champs (**Zidani, 2019**). La mesure de la couleur de la surface des échantillons a été effectuée à l'aide d'un colorimètre (*Konica Minolta CR-10*). Les résultats ont été exprimés à l'aide du système CIE $L^* a^* b^*$. Les paramètres suivants ont été déterminés : L^* ($L^* = 0$ noir, $L^* = 100$ blanc), a^* (verte ($a^* < 0$) ou rouge ($a^* > 0$)), b^* (bleu ($b^* < 0$) ou jaune ($b^* > 0$)) (**Krystyjan et al., 2015**). Le changement de couleur total (ΔE) a été calculé à partir de l'équation (15) en prenant la couleur de la poudre avant le séchage ou bien de la pâte comme référence (L_0^* , a_0^* et b_0^*) :

$$\Delta E = [(L^* - L_0^*)^2 + (a^* - a_0^*)^2 + (b^* - b_0^*)^2]^{1/2} \quad (15)$$

Le chroma (ou l'intensité : c^*) et l'angle de teinte (h°) des biscuits ont été calculés selon les équations 16 et 17, respectivement. Trois mesures par échantillons ont été prises et déclarées comme moyennes (**Sozer et al., 2014**).

$$c^* = \sqrt{[a^{*2} + b^{*2}]} \quad (16)$$

$$h^\circ = \arctan \left[\frac{b^*}{a^*} \right] \quad (17)$$

Les valeurs mesurées de L^* , a^* et b^* ont été utilisées pour calculer l'indice de brunissement (IB) selon l'équation (18) (**Zucco et al., 2011**):

$$IB = \frac{\left[100 \times \left(\frac{a + 1,79 \times L^*}{5,645 \times L^* + a^* - 3,012 \times b^*} \right) - 0,31 \right]}{0,17} \quad (18)$$

Les valeurs de l'indice de blanchiment (IBL) des échantillons ont été calculées selon **Zucco et al. (2011)** comme suit :

$$IBL = 100 - \sqrt{(100 - L^*)^2 + a^{*2} + b^{*2}} \quad (19)$$

2.6. Préparation des biscuits enrichis

Les proportions des ingrédients varient au sein d'une large plage d'un biscuit à l'autre (**Feillet, 2000**).

Etude expérimentale

Les biscuits témoin et enrichis par des différents pourcentages des poudres d'enrichissement (poudres des glands de chêne naturels et traités et poudre des graines de chardon marie) ont été préparés selon la méthode 10.50 de l'**AACC (2000)**_b avec de légères modifications.

Pour le pourcentage d'addition des poudres d'enrichissement au biscuit, les niveaux de substitution choisis sont : 10, 20 et 30% (tableau 12). Ce choix est basé sur des essais préliminaires en vue de chercher des niveaux significatifs sur le plan technologique et sur l'acceptabilité des biscuits obtenus sur le plan sensoriel.

Tableau 12 : Taux d'addition des poudres d'enrichissement au biscuit.

Biscuit	Farine de blé (g)	Poudre d'enrichissement (g)
BT	100	0
10% BCN	90	10
20% BCN	80	20
30% BCN	70	30
10% BCF	90	10
20% BCF	80	20
30% BCF	70	30
10% BCG	90	10
20% BCG	80	20
30% BCG	70	30
10% BCM	90	10
20% BCM	80	20
30% BCM	70	30

BT: biscuit témoin. BCN, BCF, BCG: biscuits enrichis en poudres des glands de chêne naturels, fermentés et germés, respectivement. BCM : biscuits enrichis en poudre des graines de chardon marie. 10%, 20% et 30% pourcentage d'incorporation des poudres d'enrichissement dans le biscuit.

2.6.1. Caractérisation physicochimique des biscuits

Les mêmes protocoles utilisés dans les caractérisations physicochimiques des poudres d'enrichissement sont utilisés pour déterminer les propriétés physicochimiques des biscuits préparés.

2.6.2. Dimensions physiques des biscuits

La perte de poids (PP) des biscuits au cours de la cuisson a été calculée selon **Agrahar-Murugkar et al. (2015)** :

$$PP (\%) = \frac{\text{masse}_{\text{pate}} - \text{masse}_{\text{biscuit}}}{\text{masse}_{\text{pate}}} \times 100 \quad (20)$$

Le diamètre (D) et l'épaisseur (E) des biscuits ont été mesurés par le pied à coulisse selon la méthode 10-53 de l'**AACC (2000)**^a. On prend la moyenne de diamètre et de l'épaisseur de six biscuits placés les uns sur les autres. Le ratio de propagation (RP) a été calculé selon **Youssef et Mousa (2012)** en utilisant l'équation suivante :

$$RP = \frac{D}{E} \quad (21)$$

Où :

RP : Ratio de propagation ;

D (mm) : Diamètre ;

E (mm) : Epaisseur.

Selon **Serrem (2010)**, le volume (V) des biscuits a été calculé en fonction du rayon (r) comme suit :

$$V (\text{cm}^3) = r^2 \times \text{épaisseur} \times 3,14 \quad (22)$$

La densité (d) des biscuits a été calculée et exprimée en g par cm^3 (**Serrem, 2010; Sozer et al., 2014**):

$$d \left(\frac{\text{g}}{\text{cm}^3} \right) = \frac{\text{masse}}{\text{volume}} \quad (23)$$

2.6.3. Analyse sensorielle

La qualité sensorielle des biscuits a été évaluée en appliquant deux tests sensoriels: le test de classement par rang et le test hédonique tels que décrits par **Watts et al. (1991)**. Les tests hédoniques sont conçus pour mesurer le degré d'appréciation d'un produit, on se sert d'échelles de catégories allant de (n'aime pas

Etude expérimentale

extrêmement) à (aime *extrêmement*) où en passant par neutre avec un nombre variable de catégories intermédiaires. Les dégustateurs choisissent, pour chaque biscuit, la catégorie qui correspond à leur degré d'appréciation.

Les attributs évalués étaient l'apparence, la couleur, la texture, le goût, l'odeur et l'acceptabilité générale. Pour chaque biscuit, les dégustateurs ont évalué leurs attributs en utilisant un échelle hédonique à neuf points (Agrahar-Murugkar *et al.*, 2015). L'échelle hédonique à neuf points est largement utilisé par les scientifiques de l'alimentation (Mudgil *et al.*, 2017). Les dégustateurs ont marqué pour différentes propriétés un score maximum de 9 pour aimer extrêmement, 8 : très aimer, 7 : aimer, 6 aimer moyennement, 5 : ni aimer ni n'aimer pas, 4 : n'aimer pas moyennement, 3- n'aimer pas assez, 2- n'aimer pas beaucoup et 1 n'aimer pas extrêmement (figure 17) (Galla *et al.*, 2007). Les notations de chaque biscuit sont présentées sous forme de tableau et analysées au moyen de l'analyse de variance (ANOVA) pour déterminer s'il y a des différences significatives dans le degré d'appréciation moyen entre les biscuits (Watts *et al.*, 1991).

Le jury se compose de 10 sujets, qui sont des étudiants de Master 2 et des travailleurs de Département de Technologie Alimentaire de l'Université de Batna 1 au sein du laboratoire Sciences des Aliments. Des explications et des instructions ont été données aux dégustatrices avant le commencement de chaque test. Chaque dégustateur reçoit 13 biscuits (biscuit témoin et biscuits enrichis) codés avec des numéros aléatoires à 3 chiffres. Les biscuits sont codés comme suit : 001 (pour le biscuit témoin), 002, 003 et 004 (pour les biscuits enrichis en 10, 20 et 30% de poudre des glands de chêne naturels), 005, 006 et 007 (pour les biscuits enrichis en 10, 20 et 30% de poudre des glands de chêne fermentés), 008, 009 et 010 (pour les biscuits enrichis en 10, 20 et 30% de poudre des glands de chêne germés) et 011, 012 et 013 (pour les biscuits enrichis en 10, 20 et 30% de poudre de chardon marie). Ensuite, il est demandé à chaque sujet de remplir une fiche d'analyse sensorielle contenant toutes les informations relatives aux paramètres de dégustation (voir annexe 2). Les dégustateurs sont demandés de classer les biscuits sous leurs 12 formes (formulations) par rapport au biscuit témoin. Les biscuits lui sont présentés simultanément pour chaque série (selon le type d'enrichissement) et d'une façon anonyme dans des récipients codés accompagnés chacun d'un verre d'eau.

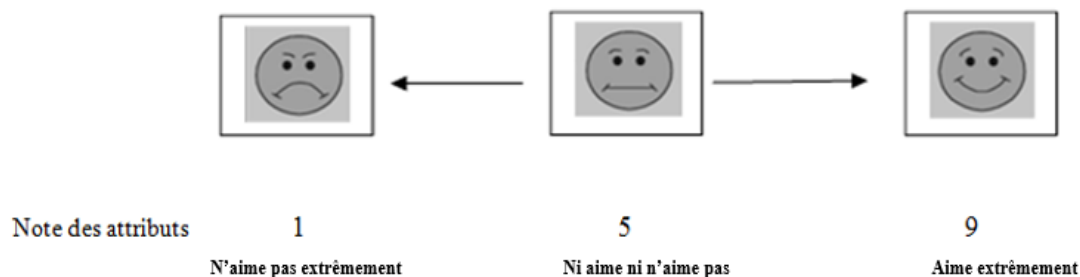


Figure 17 : Échelle faciale à neuf points utilisée pour la catégorisation hédonique des biscuits de témoin et enrichis.

2.6.4. Analyse des composants principaux (ACP)

La comparaison entre les différentes propriétés physicochimiques et sensorielles des biscuits préparés a été effectuée par la méthode d'analyse en composants principaux (ACP), qui est une approche multi-variée conçue pour les données multi-corrélées. Cette méthode a été réalisée pour visualiser les relations possibles au sein de la matrice des données. Pour déterminer le nombre des composantes principales (PCs), les valeurs propres de la matrice de corrélation, indiquant le pourcentage de variabilité expliqué par chaque composante, ont été totalisées et un graphique a été construit (Aponte et al., 2014). Cette méthode permet de projeter les informations des variables originales sur un petit nombre de nouvelles variables appelés composants principaux (PC), qui sont des combinaisons linéaires des variables d'origine. Les PC sont orthogonaux les uns aux autres et donnent, par ordre décroissant, la meilleure description de la variabilité des données. Les PCs sont utilisés comme nouveaux axes dans un tracé d'échantillons et un tracé de variables correspondant. Cela permet d'obtenir une vue d'ensemble des données et de déterminer quelles propriétés sont liées et quelles propriétés sont les plus importantes pour distinguer les échantillons (Aamodt et al., 2003).

2.7. Traitements technologiques des biscuits

Le pétrissage de la pâte a été effectué par un batteur mélangeur (type : *Food Mixer LF B20*) pendant trois durées (5, 10 et 15 minutes), pour étudier l'effet de temps de pétrissage sur la qualité de biscuit. Après l'obtention de la pâte une partie pétrie pendant 15 minutes a été laminée et découpée en formes circulaires ($5\pm 0,5$ cm de diamètre et $0,3\pm 0,1$ cm d'épaisseur) à l'aide d'un moule (Reddy et al., 2005). Puis, certains biscuits sont cuits au four électrique ventilé (type : *Wellborn*) à 180 °C

(Sakin et al., 2007) et d'autres biscuits sont cuits au microonde domestique (type : GEI07Y SAMSUNG) au puissance maximale (Sanchez-Pardo et al., 2008; Petisca et al., 2013) pour étudier l'effet du mode de cuisson sur la qualité des biscuits.

2.7.1. Effet de pétrissage

2.7.1.1. Valeur nutritionnelle des biscuits

Les mêmes protocoles utilisés dans les caractérisations physicochimiques des poudres d'enrichissement et des biscuits enrichis sont utilisés pour déterminer la qualité nutritive des biscuits pétris pendant différentes durées.

Les résultats expérimentaux obtenus par le plan d'expérience ont été analysés par la méthode de la régression multiple.

2.7.1.1.1. Optimisation par plan d'expériences de la qualité nutritive des biscuits

Selon Goupy et Creighton (2006) et Bourekoua et al. (2016), les plans d'expériences d'optimisations par la méthodologie des surfaces de réponse (MSR) permettent, grâce à des modèles mathématiques empiriques, de déterminer une relation d'approximation entre les réponses de sortie et les variables d'entrée pour optimiser les paramètres du procédé de fabrication des biscuits, afin d'atteindre des réponses souhaitables (bonne qualité nutritive).

L'étude a porté sur l'évaluation de l'influence des paramètres opératoires en l'occurrence la durée de pétrissage et le taux d'addition des poudres d'enrichissement sur la qualité nutritive des biscuits préparés. La planification des expériences a été réalisée en adoptant le plan composite centré.

Un plan d'expérience de type composite centré (Central Composite Design CCD) à deux facteurs a été utilisé pour déterminer l'effet des deux traitements X_1 et X_2 (X_1 : durée de pétrissage, X_2 : pourcentage de poudre d'enrichissement) sur la valeur nutritionnelle des biscuits préparés.

Les réponses choisies sont : Y_1 : humidité (%), Y_2 : cendres (%), Y_3 : amidon, Y_4 : gluten, Y_5 : protéines (%), Y_6 : fibres (%) et Y_7 : polyphénols (mg EAG/100g).

Le modèle étudié étant un modèle à deux facteurs. Ce plan nécessite la réalisation des expériences représentant des combinaisons de trois niveaux attribués à chacun des deux facteurs tout en prenant la réponse correspondante. Deux points

centraux (00) ont été ajoutés pour appuyer ce plan d'expériences ; ce qui donne un total de 10 essais (tableau 13, 14).

2.7.1.1.2. Modélisation de la réponse

La modélisation de la réponse est réalisée à l'aide des techniques de régression qui permettent de relier les réponses « Y » aux facteurs « X₁ » et « X₂ ». L'équation qui régit le système est de la forme (Goupy et Creighton, 2006; Bourekoua et al., 2016):

$$Y = b_0 + b_1X_1 + b_2X_2 + b_{11}X_1X_1 + b_{22}X_2X_2 + b_{12}X_1X_2 \quad (24)$$

Avec :

Y : Réponse étudiée ;

X₁ et X₂ : Formes codées des variables explicatives ;

b₀ : Constante qui exprime l'effet moyen général ;

b₁ et b₂ : Coefficients linéaires ;

b₁₁ et b₂₂ : Coefficients quadratiques ;

b₁₂ : Coefficient d'interaction.

2.7.1.1.2.1. Niveaux des variables

Pour chaque variable codée (X_i) trois niveaux, **-1, 0** et **+1** sont attribués. **-1** et **+1** représentent les valeurs extrêmes.

Le plan d'expérience de type composite centré est présenté soit par des grandeurs codées ou réelles. Avec les grandeurs codées, le tableau prend le nom de *matrice d'expériences* (tableau 13).

Tableau 13 : Matrice d'expérience du plan composite centré à deux facteurs.

Essais	Matrice	
	X ₁ (Durée de pétrissage)	X ₂ (Pourcentage des poudres d'enrichissement)
1	-1	-1
2	-1	0
3	-1	+1
4	0	-1
5	0	0
6	0	+1
7	+1	-1
8	+1	0
9	+1	+1
10	0	0

2.7.1.1.3. Détermination des variables réelles

2.7.1.1.3.1. Durée de pétrissage

Le choix de durée de pétrissage des biscuits étudiés a été déterminé sur la base d'essais préliminaires et d'examinations des recherches précédentes.

2.7.1.1.3.2. Pourcentage des poudres d'enrichissement

La borne inférieure pour l'addition des poudres d'enrichissement au biscuit a été fixée à 0% (tableaux 14 et 15).

Tableau 14 : Variables et leurs niveaux pour le plan central composite.

Variables	Niveau des variables codées		
	-1	0	+1
X ₁ : Durée de pétrissage (min)	5	10	15
X ₂ : Pourcentage des poudres d'enrichissement (%)	10	20	30

Les niveaux de substitution de la farine de blé par les poudres d'enrichissement choisis sont : 10, 20 et 30% (p/p). Ce choix est basé sur des essais préliminaires en vue de chercher des niveaux significatifs sur le plan technologique et de l'acceptabilité des biscuits obtenus sur le plan sensoriel (Hegazy et al., 2014; Bourekoua, 2018).

Pour chaque variable de réponse, l'évaluation de la pertinence du modèle a été déterminée. Le modèle semblait être quadratique et le seuil de signification était fixé à 0,05. Les réponses de chaque variable ont été soumises à une analyse statistique afin

Etude expérimentale

de définir les points optimaux pour la préparation de biscuit enrichi en utilisant les fonctions de désirabilité (Simurina et al., 2012).

Tableau 15 : Facteurs, niveaux et valeurs fondamentales utilisés dans le modèle composite central (CCD) pour les biscuits enrichis et traités par différentes durées de pétrissage.

Essais	Valeurs codées		Valeurs réelles	
	Durée de pétrissage (min)	Pourcentage des poudres d'enrichissement (%)	CCD	
			Durée de pétrissage (min)	Pourcentage des poudres d'enrichissement (%)
1	-1	-1	5	10
2	-1	0	5	20
3	-1	+1	5	30
4	0	-1	10	10
5	0	0	10	20
6	0	+1	10	30
7	+1	-1	15	10
8	+1	0	15	20
9	+1	+1	15	30
10	0	0	10	20

2.7.1.2. Dimensions physiques des biscuits

Les mêmes protocoles utilisés dans la détermination des dimensions physiques des biscuits enrichis sont utilisés pour déterminer les dimensions des biscuits pétris pendant différentes durées.

2.7.2. Effet du mode de cuisson

2.7.2.1. Propriétés physicochimiques des biscuits

Les mêmes protocoles utilisés dans les caractérisations physicochimiques des poudres d'enrichissement et des biscuits enrichis sont utilisés pour déterminer les caractéristiques physicochimiques des biscuits cuits au four électrique et au microonde.

2.7.2.2. Quantification d'hydroxyméthyle furfural (HMF) et de furfural (F) par l'HPLC/détection de la matrice de diodes

2.7.2.2.1. Procédures d'extraction

Dix grammes d'échantillon ont été mis en suspension dans 5 ml d'eau : méthanol (70:30) puis ont été agités pendant 1 min. Ensuite, 2 ml de solution de

Carrez I et de 2 ml de solution de Carrez II ont été ajoutées et l'ensemble a été centrifugé à 5000 trs/min à 4 °C pendant 15 min, en transférant le surnageant dans un flacon de 15 ml. Le résidu solide a été extrait à nouveau avec 2 ml d'eau : méthanol (70:30). La procédure décrite ci-dessus est répétée jusqu'à ce que 10 ml de surnageant soient recueillis. Une aliquote de 2 ml de cette solution a été centrifugé à 8000 trs/min pendant 15 min et injecté dans le système HPLC (Petisca et al., 2013).

2.7.2.2.2. Méthodologie HPLC

Une portion de 20 µl de l'extrait final a été injecté à l'aide d'un échantillonneur automatique (*JascoAS2057 Plus; JASCO International Co., Ltd., Tokyo, Japon*) sur un Colonne Ultracarbe ODS (250 mm de longueur, 4,6 mm de largeur) pour la chromatographie en phase liquide à haute performance - détection de barrettes de diodes (HPLC-DAD). Une unité de HPLC analytique a été utilisée (*JASCO*) équipée de pompes HPLC *Jasco PU-2080* et d'injecteur *Rheodyne* de type 7725 avec une boucle de 20 µL. L'identité et la pureté de d'hydroxyméthyle(HMF) et de furfural ont été confirmées par un détecteur à réseau de photodiodes (*modèle 2996, Waters Corp., Milford, MA, États-Unis*). L'identification des pics dans les chromatogrammes a été réalisée en comparant les temps de rétention et les spectres des pics inconnus avec des standards de référence. La phase mobile était composée d'acétate de sodium (0,04 M) et du méthanol (70:30), ajusté à pH de 4 avec acide acétique (99,8%). L'éluion isocratique a été réalisée ; le débit était de 0,8 ml/min. Toutes les analyse sont été effectuées en triple, y compris la procédure d'extraction (Petisca et al., 2013).

2.7.2.3. Modélisation des cinétiques de changement de la clarté (L^*) des biscuits au cours de cuisson

Selon Lukinac et al., 2017, le paramètre de cinétique (constante de vitesse de brunissement, k) est déterminés par la méthode des moindres carrés basés sur les données expérimentales de la cuisson des biscuits dans le four électrique ou bien au microonde. Le modèle qui a la valeur la plus petite de la racine carrée de l'erreur quadratique moyenne (RMSE) et le plus haut coefficient de corrélation (R^2) a été choisi pour prédire le brunissement des biscuits pendant la cuisson. Trois modèles de cinétiques ont été utilisés basés sur les changements de la clarté (L^*) des biscuits et permettre de déterminer le paramètre correspondant à chaque cinétique (constante de vitesse de réaction). Une approche d'utilisation consistant à appliquer une cinétique ;

Etude expérimentale

zéro, premier et deuxième ordre pour le brunissement, représenté par la variation de la clarté (L^*) des biscuits lors de la cuisson (Lukinac et al., 2017). Sous la forme d'une cinétique d'ordre zéro pour le brunissement, la variation de la luminosité de la surface L^* est représentée par l'équation suivante :

$$L^* = L^*_0 - k \times t \quad (25)$$

Avec :

L^*_0 : clarté initiale de biscuit ;

k : constante de la vitesse de réaction (vitesse de brunissement) ;

t : temps.

Une autre équation fréquemment utilisée est l'équation du premier ordre :

$$L^* = L^*_0 \times e^{-kt} \quad (26)$$

Ou sous sa forme logarithmique :

$$\ln L^* = \ln(L^*_0 - k t) \quad (27)$$

Et finalement une équation de deuxième ordre est parfois rencontrée :

$$\frac{1}{L^*} = \frac{1}{L^*_0} + k t \quad (28)$$

Le coefficient de corrélation (R^2) est le première critère utilisé pour choisir le meilleur modèle qui définit les données expérimentales de changement de la clarté des biscuits au cours de la cuisson. En plus, la racine carrée de l'erreur quadratique moyenne (RMSE) est utilisée pour déterminer la qualité d'ajustement. Ces paramètres sont calculés par les formules suivantes :

$$R^2 = \frac{\sqrt{\sum_{i=1}^N (Y_i - \bar{Y})^2}}{\sum_{i=1}^N (Y_i - \bar{Y})^2} \quad (29)$$

$$\text{RMSE} = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (y_{\text{exp}} - y_{\text{pre}})^2} \quad (30)$$

Où :

\bar{Y} : valeur moyenne de la clarté ;

y_{exp} et y_{pre} : sont respectivement la clarté expérimentale et prédite ;

N : est le nombre des mesures de la clarté (**Lukinac et al., 2017; Zidani, 2019**).

2.8. Etude statistique

Les résultats ont été exprimés en moyenne \pm écart type. L'analyse statistique a été réalisée avec le test de Duncan ($\alpha \leq 0,05$) à l'aide du logiciel statistique SPSS version 25.0 (SPSS Inc., Chicago, États-Unis) (**Hyun-Jung et al., 2014; Mogol et Gökmen, 2014**).

L'analyse en composantes principales (PCA) des propriétés des biscuits a été complétée par le logiciel statistique STATISTICA version 10.0 (StatSoft, France) (**Onacik-Gür et al., 2015**).

D'une autre part, les résultats expérimentaux obtenus par le plan d'expérience (effet d'enrichissement et de traitement de pétrissage sur la valeur nutritionnelle des biscuits) ont été analysés. L'analyse de régression multiple a été effectuée pour modéliser le modèle à second ordre des variables dépendantes à l'aide de logiciel JMP 11. Le modèle a été utilisé pour déterminer les surfaces de réponses apparaissent dans le logiciel. L'analyse de la variance (ANOVA) a été appliquée pour comparer l'effet des facteurs : durée de pétrissage (X_1) et le pourcentage des poudres d'enrichissement incorporées aux biscuits (X_2) sur la variable dépendante : qualité nutritive des biscuits (Y). Un coefficient de détermination (R^2) a été calculée et l'adéquation de modèle a été testée en séparant la somme résiduelle des carrés en erreur pure et manque d'ajustement (**Bourekoua et al., 2016**).

La modélisation des cinétiques de la variation de la clarté (L^*) au cours de la cuisson des biscuits a été effectuée en utilisant le logiciel statistique Origin 8.0 (**Mghazli et al., 2017**).

Chapitre 02 : Résultats et discussion

Partie 01

Partie 1 : Formulation et traitements technologiques des biscuits enrichis en poudres des glands de chêne naturels et traités

Les glands de chêne sont considérés comme une bonne source des fibres, des vitamines (principalement A et E), des éléments minéraux, des acides gras insaturés et des composés biologiquement actifs tels que l'acide gallique et l'acide ellagique (Bahmani et al., 2015; Vinha et al., 2016). Il a été rapporté que les végétaux ont un contenu protéique limité en acides aminés et il est nécessaire de combiner ces protéines végétales dans des proportions afin améliorer l'apport en protéines des consommateurs. Beaucoup de processus sont disponibles pour améliorer la qualité nutritionnelle des végétaux. Ces méthodes incluent des méthodes traditionnelles telles que la cuisson, le trempage, la déshydratation, la fermentation et la germination (Okpala et Okoli, 2012). La germination est un processus biologique naturel (Sangronis et Machado, 2007). Elle a été rapportée pour induire une augmentation des acides aminés et des vitamines disponibles (Okpala et Okoli, 2013). De même, la fermentation améliore la composition en acides aminés et en vitamines, augmente la disponibilité des protéines et réduit les composés antinutritionnels (Okpala et Okoli, 2012). Jusqu'à présent, aucun travail n'a été fait sur l'étude de l'effet des traitements de fermentation et de germination sur la qualité nutritive des glands de chêne (*Quercus ilex* L.).

La poudre de gland pourrait être un ingrédient nutritionnellement fonctionnel dans les aliments à base de la farine de blé comme les biscuits, muffins, pains, nouilles et les pâtisseries (Cantos et al., 2003; Parsaei et al., 2018). La qualité des biscuits est influencée par plusieurs facteurs tels que la nature et la quantité des ingrédients utilisés et les traitements effectués, tels que le pétrissage, la fermentation et la cuisson des biscuits (Sudha et al., 2007; Devi et Khatkar, 2016). Tandis que, la littérature ne fait mention que des quelques travaux visant l'effet des quelques traitements technologiques sur la qualité des biscuits à base de blé.

L'objectif de cette étude est d'évaluer l'effet de l'addition des différents pourcentages des poudres des glands de chêne et des différents traitements technologiques sur la qualité nutritive et les propriétés physicochimiques et sensorielles de biscuit.

1. Propriétés morphologiques des glands de chêne (*Quercus ilex* L.)

Le tableau 16 représente les propriétés morphologiques des glands de chêne (*Quercus ilex* L.). Il existe une différence significative entre les propriétés de chêne.

La longueur des glands de chêne est de 39,99 mm. Cette valeur est située dans l'intervalle rapporté par **Galvan et al. (2011)** (22,81-40,35 mm) pour le chêne vert (*Quercus ilex* subsp. *ballota*). Le diamètre de gland est égale 17,99 mm. Cette valeur est proche à celle mentionnée par **Foshat et al. (2011)** (18,21 mm) pour les glands de chêne (*Quercus suber* L.).

La masse de gland de chêne mesurée est de 4,16 g. Cette valeur est inférieure à celle trouvée par **Rakic et al. (2006)** (7,22 g) pour les glands (*Quercus robur*) mais elle est en accord avec l'intervalle rapporté par **Galvan et al. (2011)** (2,41-6,12 g) pour le chêne vert. Le nombre des glands de chêne dans un kilogramme est égale 241. **Rakic et al. (2006)** ont trouvé que le nombre des glands (*Quercus robur*) dans un kilogramme est de 138,91.

Le taux d'écorce des glands est égale 16,83%. Ce taux est supérieur à celui mentionné par **Rakic et al. (2006)** (14,33%) pour les glands de chêne (*Quercus robur*). La proportion des glands de chêne décortiqués est de 83,17%. Cette valeur est inférieure à celle rapporté par **Rakic et al. (2006)** (85,66%) pour les glands (*Quercus robur*). D'après **Rakic et al. (2006)**, les caractéristiques morphologiques de la matière végétale de départ sont importantes pour plusieurs raisons, notamment la procédure de collecte des glands, la séparation mécanique de l'écorce, la dessiccation et le broyage.

Tableau 16: Propriétés morphologiques des glands de chêne (*Quercus ilex* L.).

Paramètres	Glands de chêne (<i>Quercus ilex</i>)
Longueur (mm)	39,99±0,01 ^c
Diamètre (mm)	17,99±0,4 ^b
Nombre des glands dans 1 kg	241±0,12 ^e
Masse (g)	4,16±0,02 ^a
Taux d'écorce (%)	16,83±0,03 ^f
Taux de gland décortiqué (%)	83,17±0,02 ^d

Les valeurs en exposant avec des différentes lettres sont significativement différentes au seuil de 5% ($\alpha \leq 0,05$).

Les propriétés morphologiques de la matière végétale sont des critères très intéressants dans l'industrie agroalimentaire par exemple plus le poids de la matière est grand, plus sa composition chimique est élevée. La différence dans les dimensions des matières premières végétales pourrait être liée à la différence dans l'environnement écologique et la variabilité génotypique et phénotypique (Kadri et al., 2015).

2. Caractérisation des poudres des glands de chêne naturel et traité

2.1. Propriétés physicochimiques des poudres des glands de chêne

Le tableau 17 montre une comparaison entre les propriétés physicochimiques de la farine de blé et des poudres de glands de chêne naturels et traités.

La teneur en humidité de la farine de blé (9,48%) est située dans les limites acceptables (0-13%) de la teneur en eau des poudres alimentaires. Ces limites permettent un stockage sécurisé des poudres (Yusuf et al., 2008). Oppong et al. (2015) ont trouvé que la teneur en humidité de la farine de blé est égale 10,23%. La teneur en humidité de la poudre des glands de chêne naturels (10,37%) est supérieure à celle de la farine de blé. Parsaei et al. (2018) ont rapporté que la teneur en humidité de la farine de blé et de la poudre de chêne (*Quercus brantii*) est 10,48% et 6,46, respectivement. Le taux d'humidité de la poudre de chêne naturel est supérieur à celui indiqué par Songnan et al. (2015) pour la poudre des glands (*Quercus robur*) (5%) et la poudre de (*Quercus glandulifera*) (7,5%). Rakic et al. (2006) et Li et al. (2015) ont trouvé que la poudre de chêne (*Quercus robur*) et la poudre de (*Quercus glandulifera*) contient 7,89% et 7,55% d'humidité, respectivement.

La teneur en humidité de la poudre de chêne a augmentée par les traitements de la germination (10,48%) et de la fermentation (10,50%). De même, Chinma et al. (2009) et Gernah et al. (2011) ont constaté une augmentation dans l'humidité des poudres des noix tigrées (*Cyperus esculentus*) germées et de maïs (*Zea mays*) fermenté, respectivement. La teneur en humidité élevée de la poudre des glands fermentés peut être attribuée à l'addition d'eau aux glands avant la fermentation (Ojokoh et Bello, 2014). L'augmentation de la teneur en eau de la poudre des glands germés pourrait être due à sa faible teneur en matière sèche (Chinma et al., 2009).

La farine de blé a une faible teneur en cendres (0,99%) en comparaison aux poudres de chêne (tableau 17). Oppong et al. (2015) ont mentionné que la farine de

Etude expérimentale

blé contient une teneur en cendres égale 1%. **Parsaei et al. (2018)** ont trouvé que la farine de blé avait 0,28% des cendres. **Galvan et al. (2011)** ont rapporté des teneurs en cendres variant de 1,34 à 2,02% pour la poudre des glands de chêne vert (*Quercus ilex* subsp. *ballota*). La valeur des cendres trouvée par **Rakic et al. (2006)** et **Li et al. (2015)** pour la poudre des glands (*Quercus robur*) et la poudre de (*Quercus glandulifera*) est 2,07% et 0,03%, respectivement. **Hegazy et al. (2014)** ont mentionné que la poudre de châtaignier (*Castanea sativa* Mill.) contient 2,44% des cendres.

Tableau 17 : Propriétés physicochimiques de la farine de blé et des poudres des glands de chêne préparées.

Propriétés	Farine de blé	Poudre des glands de chêne naturels	Poudre des glands de chêne fermentés	Poudre des glands de chêne germés
Humidité (%)	9,48±0,0057 ^a	10,37±0,015 ^b	10,5±0,015 ^b	10,48±0,005 ^b
Matière sèche (%)	90,52±0,0057 ^b	89,63±0,015 ^a	89,5±0,015 ^a	89,52±0,005 ^a
Cendres (%)	0,99±0,011 ^a	1,85±0,015 ^{ab}	2,06±0,015 ^b	2±0,01 ^b
Matière organique (%)	99,01±0,011 ^b	98,15±0,015 ^{ab}	97,94±0,015 ^a	98±0,01 ^a
pH	4,68±0,02 ^b	6,05±0,011 ^d	3,93±0,01 ^a	5,83±0,02 ^c
Amidon (%)	75,76±0,0057 ^d	34,2±0,608 ^c	31,15±0,02 ^b	23,8±0,2 ^a
Protéines (%)	11,47±0,03 ^d	5,89±0,02 ^a	6,15±0,02 ^b	6,32±0,05 ^c
Fibres (g/100g)	3,01±0,04 ^a	5,3±0,2 ^c	5±0,2 ^{bc}	4,7±0,2 ^b
Polyphénols (mg EAG/100g)	25,7±0,34 ^a	610±0,005 ^d	550±0,005 ^c	520±0,01 ^b

Les valeurs ont été exprimées en base sèche. Les différentes lettres au niveau de la même ligne signifient qu'il y a une différence significative entre les valeurs ($\alpha \leq 0,05$).

Une augmentation de la teneur en cendres a été observée par les traitements de germination et de fermentation (tableau 17). Aussi, il y avait des différences significatives ($\alpha \leq 0,05$) dans les valeurs des cendres entre les différents échantillons des poudres. **Idris et al. (2005)** et **Gernah et al. (2011)** ont observé une augmentation dans la teneur en minéraux de la poudre de sorgho germé et la poudre de maïs fermenté, respectivement. L'augmentation des cendres pourrait résulter d'une utilisation incomplète des composés organiques par les organismes de la fermentation au cours du métabolisme (**Ojokoh et Bello, 2014**).

Le pH peut affecter de nombreuses réactions et des différentes propriétés physiques dans une formulation : gélatinisation de l'amidon, brunissement, transition

Etude expérimentale

vitreuse, moussage, interaction et dénaturation des protéines, propagation des biscuits et réactions aromatiques. Le pH de la farine de blé (4,68) est inférieur à celui de la poudre des glands de chêne naturels (6,05). **Parsaei et al. (2018)** ont trouvé que la farine de blé et la poudre des glands de chêne (*Quercus brantii*) ont un pH égale 5,77.

Le pH a diminué significativement sous l'influence des traitements de la fermentation et de la germination (tableau 17). Ces observations sont en accord avec les études antérieures de **Gernah et al. (2011)** et d'**Ojokoh et Bello (2014)** pour la farine de maïs germé (*Zea mays*) et la poudre de mil fermenté (*Pennisetum glaucum*), respectivement. La diminution de pH pendant la fermentation et la germination est due à la dégradation des glucides et à l'hydrolyse de certaines molécules organiques complexes telles que les lipides et les protéines au cours de la fermentation et de la germination (**Bilgiçli et al., 2006; Gernah et al., 2011**).

La farine de blé présentait la plus forte teneur en amidon (75,76%). **Lassoued-Oualdi (2005)** a mentionné que la farine de blé contient 72% d'amidon. Tandis que, **Ragaee et al. (2006)** ont trouvé que la teneur en amidon de la farine de blé est égale 77,9%. La poudre de chêne naturel avait 34,2% d'amidon. **Correia et al. (2009)** ont rapporté que la poudre de chêne (*Quercus rotundifolia*) contient 33,5% d'amidon.

La teneur en amidon a diminué significativement par les traitements de germination (23,8%) et de fermentation (31,15%). **Chinma et al. (2009)** et **Gernah et al. (2011)** ont constaté une diminution dans la teneur d'amidon des poudres des noix de tigrées (*Cyperus esculentus*) germées et de maïs (*Zea mays*) fermenté, respectivement. La diminution de l'amidon par la germination peut être attribuée à une augmentation de l'activité de l'alpha-amylase qui décompose les glucides complexes en sucres plus simples et plus absorbables utilisés lors de la germination (**Chinma et al., 2009**). En outre, les activités métaboliques des microorganismes pendant la croissance réduisent la teneur d'amidon pendant la fermentation. Cette diminution peut également être attribuée à son conversion en glucose en tant que source d'énergie (**Ojokoh et Bello, 2014**).

Comparée à la farine de blé, la teneur en protéines de la poudre de chêne est inférieure d'environ 5% (tableau 17). Ces résultats sont proches de ceux trouvés par **Parsaei et al. (2018)** pour la farine de blé (11,13%) et la poudre de chêne (4,14%). **Hegazy et al. (2014)** ont trouvé que la poudre de châtaignier (*Castanea*

sativa Mill.) contient une teneur en protéines (5,58%) inférieure à celle de la farine de blé (9,80%).

Les traitements de la fermentation et de la germination augmentent significativement la teneur des protéines de la poudre des glands de chêne (6,15 et 6,32%, respectivement). Ces résultats sont en accord avec ceux d'**Okpala et Okoli (2013)** et de **Sangronis et Machado (2007)**.

La farine de blé avait la faible teneur en fibres (3,01%) en comparaison à la poudre des glands de chêne (5,3%). Similairement, **Hegazy et al. (2014)** ont rapporté que la poudre de châtaigniers (*Castanea sativa* Mill.) contient une teneur en fibres (3,09%) supérieure à celle de la farine de blé (0,51%). Cependant, **Parsaei et al. (2018)** ont trouvé que la farine de blé et la poudre des glands de chêne (*Quercus brantii*) ont une teneur en fibres égale 5,06% et 2,51%, respectivement. La teneur en fibres a diminuée par la fermentation (5%) et la germination (4,7%). Cette diminution est due à leur dégradation au cours de ces processus.

La teneur en polyphénols dans la farine de blé est 25,70 mg EAG/100g. **Hegazy et al. (2014)** ont rapporté que la farine de blé contient 501 µg/g de polyphénols. Tandis que, la teneur en polyphénols mentionnée par **Klunklin (2018)** pour la farine de blé est 28,66 mg EAG/100g. Les poudres des glands de chêne contiennent des teneurs élevées en polyphénols (tableau 17). Le contenu phénolique total de la poudre des glands de chêne naturels (610 mg EAG/100g) est proche à celui rapporté par **ElMahi et al. (2016)** (0,631%) pour la poudre des glands (*Quercus ilex*). **Ghaderi-Ghahfarrokhi et al. (2017)** ont trouvé que la poudre de chêne (*Quercus branti*) et la poudre de (*Quercus castaneifolia*) contient 4,48 et 9,61 g/1000g de polyphénols, respectivement. **Hegazy et al. (2014)** ont mentionné que la poudre de châtaigniers (*Castanea sativa* Mill.) contient une teneur en polyphénols égale 3778 µg/g. **Cantos et al. (2003)**, **Karioti et al. (2010)** et **Vinha et al. (2016)** ont rapporté que les fruits de chêne sont riches en composés phénoliques.

Les traitements effectués entraînent une diminution significative du contenu phénolique de la poudre des glands de chêne. La réduction la plus importante a été causée par le traitement de germination (520 mg EAG/100g) suivi par le traitement de fermentation (550 mg EAG/100g). Similairement, **Ghavidel et Prakash (2007)** et **Ojokoh et Bello (2014)** ont trouvé une diminution de la teneur en composés

Etude expérimentale

phénoliques dans les graines de légumineuses germées et le mélange des poudres de mil fermenté (*Pennisetum glaucum*) et de soja (*Glycine max*), respectivement. La réduction des composés phénoliques a été causée par l'activité d'enzyme de polyphénoloxydase au cours de la germination et par l'action de la levure dans le cas de la fermentation. Ces résultats sont en accord avec les travaux de **Khattab et Arntfield (2009)**, **Gernah et al. (2011)** et **Rizzello et al. (2012)**.

2.2. Couleur des poudres des glands de chêne

Le tableau 18 représente les indices de la couleur de la farine de blé et des poudres des glands de chêne naturels et traités.

Tableau 18 : Indices de la couleur de la farine de blé et des poudres des glands de chêne préparées.

Paramètres	Farine de blé	Poudre des glands de chêne naturels	Poudre des glands de chêne fermentés	Poudre des glands de chêne germés
L*	91,19±0,03 ^c	62±0,1 ^a	67,03±0,25 ^b	67,3±0,3 ^b
c*	21,18±0,07 ^a	27,36±0,25 ^d	26,46±0,35 ^c	26,09±0,27 ^b
h°	81,36±0,08 ^d	78,1±0,2 ^a	78,13±0,25 ^b	80,46±0,18 ^c
ΔE	99,6±0,058 ^a	35,95±0,19 ^c	39,5±0,085 ^b	39,7±0,03 ^b
IB	527,09±0,13 ^a	564,37±0,05 ^d	545,34±0,16 ^c	530,93±0,07 ^b
IBL	64,68±0,09 ^d	56,14±0,07 ^a	58,76±0,06 ^b	58,95±0,05 ^c

L* : indique la clarté. c* : chromaticité (saturation). h° : angle de teinte. ΔE : différence totale de la couleur. IB : indice de brunissement. IBL : indice de blanchiment. Les valeurs en exposant avec des différentes lettres dans la même ligne sont significativement différentes au seuil de signification de 5% ($\alpha \leq 0,05$).

Les poudres des glands de chêne étaient moins blanches que la farine de blé. La grande quantité des composés phénoliques dans les glands contribue à la baisse des valeurs de la clarté (62-67,3) et de l'indice de blanchiment (56,14-58,95) et à l'augmentation significative des valeurs de la chromaticité (26,09-27,36) et de l'indice de brunissement (530,93-564,37) des poudres de chêne en comparaison à la farine de blé. La farine de blé a été hautement transformée pour être plus blanche (**Eke-Ejiofor et al., 2014**).

Les valeurs de la clarté (62), de chromaticité (27,36), d'angle de teinte (78,1) et de la différence de couleur totale (35,95) de la poudre des glands de chêne naturels (tableau 18) sont assez proches à celles trouvées par **Correia et al. (2009)** (L* : 75,2, c* : 19, h° : 83,3 et ΔE : 16,2) pour la poudre des glands de chêne (*Quercus suber*).

La clarté (L^*) et l'indice de blanchiment (IBL) de la poudre des glands de chêne naturels ont été diminués par les traitements de la fermentation et de germination (tableau 18). Ces observations sont en accord avec les études antérieures de **Hallen et al. (2004)** qui ont mentionné une réduction de la clarté de la farine de blé enrichie en poudre de niébé fermenté et germé.

Les niveaux élevés des composés phénoliques dans les glands et les traitements effectués ont contribué aux différences majeures dans les indices de la couleur entre la farine de blé et les poudres de chêne.

2.3. Propriétés fonctionnelles des poudres des glands de chêne

La figure 18 représente les propriétés fonctionnelles de la farine de blé et des poudres des glands de chêne préparées.

La densité apparente de la farine de blé ($0,72 \text{ g/cm}^3$) est proche à celle rapportée par **Baljeet et al. (2014)** ($0,70 \text{ g/cm}^3$). La poudre des glands de chêne naturels avait une densité ($0,64 \text{ g/cm}^3$) inférieure à celle de la farine de blé.

La densité apparente de la poudre des glands a été diminuée par le traitement de la fermentation ($0,58 \text{ g/cm}^3$). De même, **Adebowale et Maliki (2011)** ont constaté une diminution de la densité du poudre des graines de pois d'Angole (*Cajanus cajan*) fermentées. En plus, le traitement de germination réduit la densité de la poudre des glands de $0,64$ à $0,48 \text{ g/cm}^3$. Des observations similaires de la réduction du densité par le traitement de la germination ont été rapportées par **Chinma et al. (2009)** et **Elkhalifa et Bernhardt (2010)** pour les poudres de noix tigrées et de sorgho, respectivement. D'après **Ocheme et al. (2015)**, la diminution observée de la densité du poudre de chêne germé est due à la destruction des composés complexes telles que l'amidon suite à la modification survenue pendant la germination.

La farine de blé avait une capacité d'absorption d'eau ($1,50 \text{ g/g}$) supérieure à celle de la poudre des glands de chêne naturels ($1,03 \text{ g/g}$). **Oppong et al. (2015)** ont trouvé une valeur similaire ($1,50 \text{ g/g}$) pour la farine de blé.

La capacité d'absorption d'eau de la poudre des glands de chêne a été augmentée par la germination ($1,10 \text{ g/g}$). Ce résultat est en accord avec l'étude d'**Ocheme et al. (2015)** qui ont constaté une augmentation de la capacité d'absorption d'eau de la poudre de sorgho germé. La capacité de rétention d'eau dépend de la structure des macromolécules de nature protéique et polysaccharideique (**Zidani, 2019**).

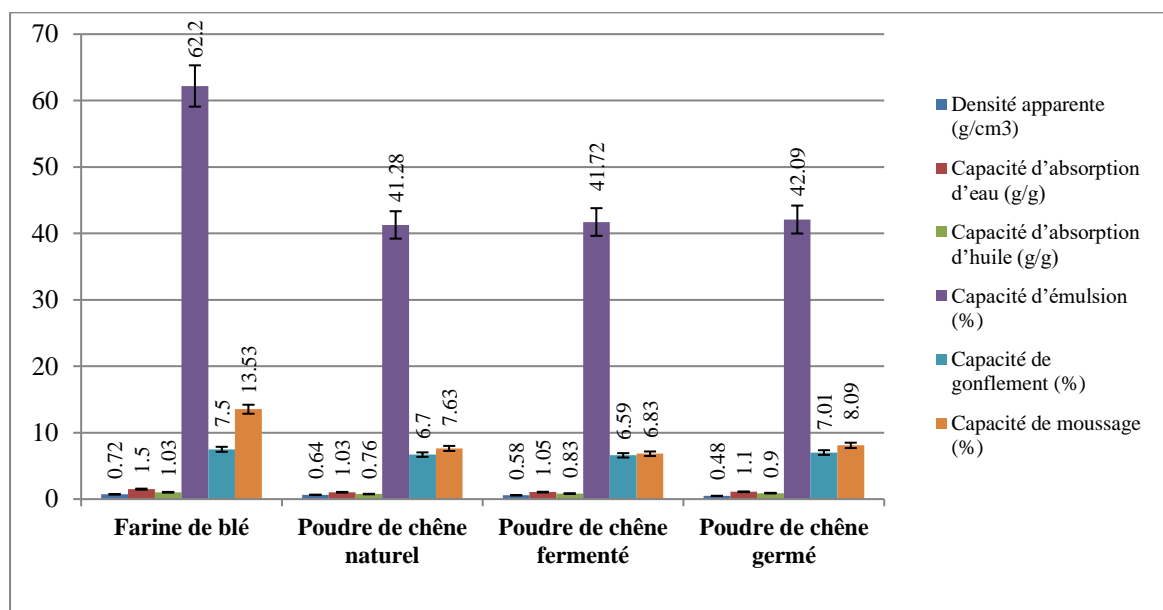


Figure 18 : Propriétés fonctionnelles de la farine de blé et des poudres des glands de chêne naturels et traités.

L'augmentation de la capacité d'absorption d'eau par le traitement de la germination pourrait être attribuée à l'évolution de la qualité des protéines pendant la germination, à la dégradation des molécules de polysaccharide et l'apparition des sites d'interaction avec l'eau et par conséquent la rétention d'eau augmentera (**Elkhalifa et Bernhardt, 2010**). Aussi, la capacité d'absorption d'eau de la poudre des glands a été augmentée par le traitement de la fermentation (1,05 g/g). **Adebowale et Maliki (2011)** ont constaté une augmentation de la capacité d'absorption d'eau de la poudre des graines de pois d'Angole (*Cajanus cajan*) fermentées.

La capacité de rétention d'eau des farines joue un rôle important dans les formulations alimentaires car elle affecte directement les propriétés physicochimiques et sensorielles (friabilité, tendreté,...) du produit fini. Autrement dit, l'utilisation des farines dans une formulation alimentaire est fortement liée à son interaction avec l'eau (**Sreerama et al., 2012**). L'absorption d'eau est un facteur de qualité très important dans les produits de boulangerie (**Pylar, 1988**).

La capacité d'absorption d'huile de la poudre des glands de chêne (0,76 g/g) est inférieure à celle de la farine de blé (1,03 g/g). **Oppong et al. (2015)** ont rapporté que la farine de blé a une capacité d'absorption d'huile égale 1 g/g.

La capacité de rétention d'huile de la poudre des glands de chêne a été augmentée par les traitements de la fermentation (0,83 g/g) et de la germination (0,9 g/g). La capacité à retenir l'huile est liée à la nature et à la teneur en protéines, en fibres et en amidon et aussi aux traitements technologiques appliqués au cours de la préparation des poudres alimentaires (Ma *et al.*, 2011; Vioque *et al.*, 2012). Kinsella et Melachouris (1976) ont rapporté que les protéines hydrophobes ont une meilleure capacité pour se lier aux lipides.

La capacité à retenir l'huile ou la matière grasse est une caractéristique importante dans la formulation des aliments pour conserver sa saveur et améliorer sa sensation en bouche (Kinsella et Melachouris, 1976). Une farine à forte capacité d'absorption d'huile pourrait être utile dans les produits de boulangerie nécessitant une capacité de rétention d'huile élevée, tels que les sablés, génoises, madeleines et les macarons (Oppong *et al.*, 2015).

La poudre des glands de chêne a une capacité d'émulsion (41,28%) inférieure à celle de la farine de blé (62,2%). Zouari *et al.* (2016) ont rapporté que la farine de blé a une capacité d'émulsion égale 42,77%.

La capacité d'émulsion de la poudre des glands de chêne a été augmentée par les traitements de la fermentation (41,72%) et de la germination (42,09%). La différence dans les propriétés d'émulsion pourrait être due à la différence dans la composition, en particulier les molécules protéiques qui migrent vers l'interface d'huile/eau. Les protéines exposent les acides aminés hydrophobes vers la phase huileuse et les acides aminés hydrophiles vers la phase aqueuse. A l'interface, les protéines perdent une grande partie de leur structure tertiaire et développent une structure secondaire qui accentue leur nature amphiphile. Un film viscoélastique se développe pour entourer les gouttelettes formées de la phase dispersée. L'épaisseur du film interfacial varie selon la nature et la concentration des protéines (Zhai *et al.*, 2013).

La farine de blé présente une capacité de gonflement élevée (7,50%) que celle de la poudre des glands de chêne (6,7%). Oppong *et al.* (2015) ont trouvé une valeur similaire pour la farine de blé (7,50%). Correia et Beirao-da-Costa (2011) ont rapporté que la poudre des glands de chêne (*Quercus rotundifolia*) et de chêne (*Quercus suber*) a un indice de gonflement de 10,2 et 10,4, respectivement.

La capacité de gonflement de la poudre de chêne a été diminuée par le traitement de la fermentation (6,59%) et augmentée par le traitement de la germination (7,01%). La capacité de gonflement est un facteur important pour la détermination des caractéristiques de certains produits, telles que la teneur en humidité et la rétrogradation de l'amidon. Ce paramètre indique également le gonflement des granules d'amidon pendant la gélatinisation, comme la rétention d'eau due à la gélification des protéines. Les principales compositions chimiques qui améliorent le gonflement des farines sont les protéines et les glucides car les deux composants contiennent des parties hydrophiles (**Correia et Beirao-da-Costa, 2011**).

La farine de blé avait une capacité de moussage élevée (13,53%) en comparaison à la poudre des glands de chêne (7,63%). **Zouari et al. (2016)** ont trouvé que la capacité de moussage de la farine de blé est égale 13,19%.

La capacité de moussage de la poudre des glands de chêne a été diminuée par le traitement de la fermentation (6,83%) et augmentée par le traitement de la germination (8,09%). La valeur élevée des capacités de moussage pourrait être due à la teneur élevée en amidon et en protéines (**Awad-Allah, 2013**).

Les constituants biochimiques tels que les protéines, l'amidon et les fibres alimentaires, apportent une contribution phare dans la détermination des propriétés fonctionnelles d'une poudre alimentaire (**Kinsella, 1982**). La qualité de la farine ou de la poudre fait référence à sa capacité à produire des biscuits de bonne qualité selon les spécifications établies par les clients (**Dogan, 2006**).

3. Caractérisation des biscuits enrichis en poudres des glands de chêne naturels et traités

3.1. Propriétés physicochimiques des biscuits enrichis

Les propriétés physicochimiques de biscuit témoin et des biscuits enrichis en différents pourcentages de la poudre des glands de chêne sont représentées dans le tableau 19. Tandis que, le tableau 20 montre l'effet des traitements de fermentation et de germination sur les propriétés physicochimiques des biscuits enrichis en poudre des glands de chêne.

Etude expérimentale

Le biscuit témoin a une teneur en humidité élevée (5,57%) en comparaison aux biscuits enrichis en poudre des glands de chêne naturels (5,19%). Similairement, **Hegazy et al. (2014)** ont trouvé que le biscuit à base de la farine de blé contient une teneur élevée en humidité (7,17%) par rapport aux biscuits enrichis en différents pourcentages de la poudre de châtaigne (5,60%-6,39%).

L'augmentation de la teneur en humidité des biscuits enrichis en poudre des glands de chêne fermentés (5,24%) par rapport aux biscuits enrichis en poudre des glands de chêne naturels (tableau 20) pourrait être attribuée à l'addition d'eau au gland avant la fermentation (**Ojokoh et Bello, 2014**).

Aussi, la teneur en humidité a augmenté dans les biscuits enrichis en poudre des glands de chêne germés (5,5%). **Hyun-Jung et al. (2014)** ont signalé que la teneur en humidité a été augmentée dans les biscuits préparés par la farine de riz germé. Les enzymes activées pendant la germination induisent une dégradation de l'amidon et des protéines en sucres et des peptides plus petits, respectivement. Ce qui augmente la pression osmotique et la rétention d'eau des biscuits (**Hyun-Jung et al., 2014**).

Tableau 19 : Propriétés physicochimiques de biscuit témoin et des biscuits enrichis en poudre des glands de chêne.

Propriétés	Biscuit témoin	Biscuits enrichis en poudre des glands de chêne naturels		
		10% BCN	20% BCN	30% BCN
Humidité (%)	5,57±0,011 ^b	5,19±0,01 ^a	5,19±0,02 ^a	5,19±0,03 ^a
Matière sèche (%)	94,43±0,011 ^a	94,81±0,01 ^b	94,81±0,02 ^b	94,81±0,03 ^b
Cendres (%)	1,61±0,01 ^a	1,79±0,01 ^b	1,82±0,02 ^b	1,93±0,02 ^c
Matière organique (%)	98,39±0,01 ^c	98,21±0,01 ^b	98,18±0,02 ^b	98,07±0,02 ^a
pH	6,85±0,011 ^{bc}	6,88±0,01 ^c	6,82±0,03 ^b	6,78±0,02 ^a
Amidon (%)	68,08±0,015 ^b	61,03±0,011 ^a	61±1 ^a	60,91±0,03 ^a
Gluten (%)	37,13±0,015 ^c	33,09±0,01 ^b	32,89±0,02 ^b	32,3±0,3 ^a
Protéines (%)	5,73±0,02 ^c	5,1±0,1 ^b	5±0,05 ^b	4,97±0,04 ^a
Fibres (%)	0,23±0,02 ^a	0,38±0,02 ^b	0,5±0,1 ^c	0,57±0,03 ^c
Polyphénols (mg EAG/100g)	44,82±0,03 ^a	198,5±0,2 ^b	203,69±0,03 ^c	215,5±0,3 ^d

BT : biscuit témoin. BCN : biscuit enrichi en poudre des glands de chêne naturels. 10%, 20% et 30% : pourcentage de remplacement de la farine de blé par la poudre des glands de chêne. Les valeurs ont été exprimées en base sèche. Les différentes lettres au niveau de la même ligne signifient qu'il y a une différence significative entre les valeurs ($\alpha \leq 0,05$).

L'augmentation de la teneur en humidité peut être due à l'augmentation de la teneur en protéines. Selon **Saadoudi(2019)**, il y a une corrélation entre la diminution

Etude expérimentale

de la teneur en eau des produits de boulangerie et la diminution de sa teneur en protéines.

Le biscuit témoin contient une teneur réduite des cendres (1,61%) en comparaison aux biscuits enrichis en poudre des glands de chêne (tableaux 19). Le taux des cendres a été augmenté par l'accroissement du pourcentage de la poudre des glands de chêne incorporée au biscuit (1,79%-1,93%). Cette augmentation est expliquée par la teneur élevée des cendres dans le chêne. Similairement, **Hegazy et al. (2014)** ont trouvé une augmentation dans la teneur en cendres des biscuits enrichis en différents pourcentages de la poudre de châtaigne (1,80%-2,05%) en comparaison au biscuit à base de blé (1,65%).

La teneur en cendres de biscuit enrichi en chêne a été augmentée par les traitements de fermentation et de germination (tableau 20). Similairement, **Hallen et al. (2004)** ont rapporté une augmentation dans la teneur en cendres des biscuits enrichis par la poudre d'haricote traité par la fermentation.

Tableau 20 : Effet des traitements de fermentation et de germination sur les propriétés physicochimiques des biscuits enrichis en poudre des glands de chêne.

Propriétés	BCF			BCG		
	10% BCF	20% BCF	30% BCF	10% BCG	20% BCG	30% BCG
Humidité (%)	5,24±0,01 ^a	5,239±0,001 ^a	5,2402±0,0098 ^a	5,5±0,2 ^b	5,5±0,2 ^b	5,505±0,005 ^b
Matière sèche (%)	94,76±0,01 ^b	94,761±0,001 ^b	94,7598±0,0098 ^b	94,5±0,2 ^a	94,5±0,2 ^a	94,495±0,005 ^a
Cendres (%)	1,81±0,005 ^{bc}	1,83±0,02 ^c	1,97±0,02 ^d	1,78±0,01 ^a	1,83±0,02 ^b	1,95±0,02 ^c
Matière organique (%)	98,19±0,005 ^{bc}	98,17±0,02 ^b	98,03±0,02 ^a	98,22±0,01 ^c	98,21±0,02 ^c	98,05±0,02 ^b
pH	6,72±0,01 ^{bc}	6,69±0,01 ^b	6,63±0,03 ^a	6,79±0,005 ^d	6,75±0,02 ^{cd}	6,68±0,02 ^b
Amidon (%)	59,4±0,2 ^f	57,8±0,1 ^e	57,24±0,03 ^d	51,9±0,1 ^c	47,3±0,3 ^b	46,8±0,1 ^a
Gluten (%)	33,18±0,015 ^b	32,89±0,1 ^{ab}	32,3±0,05 ^a	33,29±0,01 ^c	32,89±0,03 ^b	32,3±0,05 ^{ab}
Protéines (%)	5,24±0,03 ^a	5,45±0,02 ^b	5,47±0,03 ^b	5,45±0,02 ^b	5,68±0,03 ^c	5,72±0,04 ^c
Fibres (%)	0,35±0,02 ^{ab}	0,3±0,02 ^c	0,27±0,1 ^c	0,3±0,05 ^a	0,26±0,03 ^{ab}	0,24±0,03 ^{bc}
Polyphénols (mg EAG/100g)	110,05±0,07 ^c	142,86±0,04 ^e	160,23±0,07 ^f	87,25±0,04 ^a	106,19±0,03 ^b	121,5±0,2 ^d

BCF, BCG : biscuits enrichis en poudre des glands de chêne fermentés et en poudre des glands de chêne germés, respectivement. 10%, 20% et 30% : pourcentage de remplacement de la farine de blé par les poudres d'enrichissement. Les valeurs ont été exprimées en base sèche. Les différentes lettres au niveau de la même ligne signifient qu'il y a une différence significative entre les valeurs ($\alpha \leq 0,05$).

Le pH de biscuit à base de la farine de blé (6,85) était inférieur à celui des biscuits enrichis en poudre de chêne naturel (6,78-6,88). Le pH des biscuits enrichis

en chêne a été diminué par les traitements de la fermentation et de la germination (tableau 20). Similairement, **Rizzello et al. (2010)** ont signalé une diminution du pH du pain enrichi en poudre de germe de blé fermenté.

Les biscuits enrichis en poudre des glands avaient des faibles teneurs en amidon en comparaison au biscuit témoin (tableau 19). Cette diminution pourrait s'expliquer par la faible teneur en amidon dans la poudre des glands de chêne par rapport à la farine de blé (**Cornejo et al., 2015**).

Le taux d'amidon a été diminué significativement dans les biscuits enrichis en poudres des glands de chêne traités par la fermentation et la germination (tableau 20). L'activité de la microflore pendant la fermentation réduit la teneur en amidon de chêne (**Khattab et Arntfield, 2009; Gernah et al., 2011**). Tandis que, au cours de la germination, l'activité de l' α -amylase augmente, catalysant la dégradation de l'amidon et augmentant par conséquent la quantité de petits dextrine et sucres simples (**Cornejo et al., 2015**).

La teneur en gluten a été diminuée par l'addition de la poudre des glands de chêne au biscuit (tableaux 19 et 20). Cet effet est une conséquence évidente de la substitution de la farine de blé par la poudre des glands de chêne, réduisant la quantité de gluten. **Korus et al. (2015)** ont indiqué que la poudre des glands pourrait être utilisée pour préparer des produits de boulangerie sans gluten.

La teneur des protéines a été diminuée dans les biscuits enrichis en poudre des glands de chêne (4,97-5,1%). Cela peut être expliqué par la richesse de la farine de blé en protéines par rapport à la poudre des glands de chêne. **Hegazy et al. (2014)** ont mentionné une diminution de la teneur des protéines des biscuits enrichis en poudre de châtaigne (5,16- 8,87%).

La teneur en protéines a été augmentée dans les biscuits enrichis en poudre de chêne fermenté et germé (tableau 20). **Adebowale et Maliki (2011)** ont rapporté une amélioration dans la teneur en protéines de la poudre des graines de pois cajan (*Cajanus cajan*) traitées par la fermentation. Aussi, **Okpala et Okoli (2012)** ont trouvé une augmentation dans la teneur en protéines des biscuits enrichis en poudre des graines de pois cajan (*Cajanus cajan*) germées. Les enzymes des protéases jouent un rôle primordial durant la germination, elles sont impliquées dans les processus de dégradation des protéines accumulées dans les tissus de réserves et de leur transport sous forme d'acides aminés vers l'embryon. Ces hydrolysats sont absorbés par

l'embryon et sont à l'origine de nouveaux acides aminés et de la synthèse de protéines dans les organes en croissance (**Ben Dkhil et Denden, 2014**).

La teneur en fibres a été augmentée par l'incorporation de la poudre des glands de chêne au biscuit (0,38-0,57%). Ceci est expliqué la teneur élevée en fibres dans la poudre de chêne. Similairement, **Korus et al. (2015)** ont trouvé une augmentation de la teneur en fibres de pain enrichi en poudre des glands de chêne (47,14-85,49 g/kg).

La teneur en fibres a été diminuée dans les biscuits enrichis en poudre de chêne traité par la fermentation (0,27-0,35%) et la germination (0,24-0,30%). Cette réduction des fibres est due à leur dégradation au cours de ces processus.

Le biscuit témoin contient une teneur réduite en polyphénols (44,82 mg EAG/100g). **Hegazy et al. (2014)** ont mentionné que le contenu phénolique de biscuit à base de blé est égale 490 µg/g. L'incorporation de 10% de la poudre des glands de chêne au biscuit augmente significativement sa teneur en polyphénols (198,5 mg EAG/100g). Cette teneur a été augmentée par l'accroissement de pourcentage d'incorporation de la poudre des glands de chêne au biscuit (203,69-215,5 mg EAG/100g). Aussi, **Hegazy et al. (2014)** ont trouvé une augmentation dans la teneur en polyphénols des biscuits enrichis en 10%, 20% et 30% de la poudre de châtaigne (801, 1190 et 1480 µg/g). **Karioti et al. (2010)** et **Vinha et al. (2016)** ont rapporté que le chêne (*Quercus ilex*) est riche en composés phénoliques.

Le traitement des glands de chêne par la fermentation et la germination diminue significativement les composés phénoliques des biscuits enrichis (tableau 20). **Khatab et Arntfield (2009)** et **Gernah et al. (2011)** ont mentionné que les traitements de germination et de fermentation diminuent les composés phénoliques de la poudre surtout les composés antinutritionnels tels que les tanins. La réduction des composés phénoliques résulte de l'activité du polyphénols oxydase au cours de la germination et de l'action de la microflore pendant la fermentation (**Khatab et Arntfield, 2009; Gernah et al., 2011**).

3.2. Dimensions physiques des biscuits enrichis

Les dimensions physiques des biscuits préparés sont représentées dans le tableau 21.

Tableau 21 : Propriétés physiques de biscuit témoin et des biscuits enrichis en poudre des glands de chêne naturels.

Biscuits	Masse (g)	Perte de poids (%)	Diamètre (mm)	Épaisseur (mm)	Volume (cm ³)	Ratio de propagation	Densité (g/cm ³)
BT	9,77±0,005 ^e	20,79±0,01 ^e	42,1±0,005 ^d	5,3±0,005 ^a	7,37±0,009 ^{bc}	7,94±0,007 ^e	1,32±0,0012 ^c
10% BCN	9,52±0,01 ^d	20,25±0,04 ^d	42±0,02 ^d	5,6±0,005 ^b	7,75±0,01 ^{cd}	7,51±0,008 ^d	1,22±0,002 ^b
20% BCN	9,5±0,02 ^d	20,19±0,04 ^{cd}	39,7±0,3 ^c	6,33±0,02 ^{cd}	7,83±0,14 ^d	6,27±0,02 ^c	1,21±0,01 ^b
30% BCN	9,48±0,02 ^{cd}	20,15±0,04 ^{cd}	36,4±0,2 ^a	6,8±0,1 ^e	7,07±0,02 ^{ab}	5,35±0,10 ^a	1,34±0,007 ^c
10% BCF	9,37±0,005 ^{bc}	19,93±0,03 ^{bc}	41,6±0,005 ^d	6,4±0,01 ^{cd}	8,69±0,015 ^e	6,5±0,009 ^c	1,07±0,0013 ^a
20% BCF	9,35±0,02 ^b	19,88±0,04 ^b	38,9±0,2 ^b	6,6±0,35 ^{de}	7,83±0,49 ^d	5,89±0,28 ^b	1,19±0,07 ^b
30% BCF	9,3±0,05 ^b	19,78±0,10 ^b	36,1±0,2 ^a	6,89±0,02 ^e	7,04±0,09 ^{ab}	5,23±0,01 ^a	1,31±0,01 ^c
10% BCG	9,13±0,01 ^a	19,41±0,006 ^a	41,8±0,005 ^d	5,5±0,01 ^{ab}	7,54±0,015 ^{cd}	7,6±0,01 ^{de}	1,21±0,003 ^b
20% BCG	9,1±0,2 ^a	19,34±0,42 ^a	39,2±0,3 ^{bc}	6,2±0,1 ^c	7,47±0,23 ^{bcd}	6,32±0,05 ^c	1,21±0,01 ^b
30% BCG	9,07±0,03 ^a	19,28±0,06 ^a	36,2±0,3 ^a	6,72±0,03 ^e	6,91±0,14 ^a	5,38±0,02 ^a	1,31±0,02 ^c

BT : biscuit témoin. BCN, BCF, BCG : biscuits enrichis en poudre des glands de chêne naturels, en poudre des glands de chêne fermentés et en poudre des glands de chêne germés, respectivement. 10%, 20% et 30% : pourcentage de remplacement de la farine de blé par les poudres d'enrichissement. Les lettres différentes au niveau de la même colonne signifient qu'il ya une différence significative entre les valeurs ($\alpha \leq 0,05$).

La substitution de la farine de blé par la poudre des glands de chêne diminue considérablement le poids de biscuit (9,07-9,52 g). Similairement, **Serrem (2010)** a trouvé une réduction de poids des biscuits enrichis en poudre de soja. En comparaison au biscuit enrichi en poudre de chêne naturel, le poids et la perte de poids des biscuits enrichis en poudres de chêne traité ont été diminués. Cela peut s'expliquer par la propriété hydrophile élevée des protéines des poudres de chêne traité. Il se traduit par une réduction des solides totaux dans la pâte et dans les biscuits (**Serrem, 2010**).

Concernant le taux d'addition des poudres des glands de chêne. L'épaisseur et le volume des biscuits ont été augmentés, tandis que le diamètre et le ratio de propagation ont diminués par l'addition des pourcentages élevés des poudres des glands de chêne (tableau 21). Ces résultats sont en accord avec ceux de **Hegazy et al. (2014)** pour les biscuits enrichis en pourcentages croissants de la poudre de châtaigne.

Les biscuits enrichis en poudre de chêne fermenté présentaient les plus petits diamètres (36,1-41,6 mm) et ratio de propagation (5,23-6,5) et la plus grande épaisseur (6,4-6,89 mm) par rapport aux autres biscuits. En outre, une augmentation

du volume de biscuit était plus prononcée lorsque la poudre des glands de chêne fermentés était incorporée (7,04-8,69). Cela est attribué à l'activité métabolique des microorganismes pendant la fermentation. **Okpala et al. (2013)** ont trouvé des résultats similaires pour les biscuits enrichis en poudre de sorgho fermenté.

La densité des biscuits a diminuée par l'addition des poudres des glands de chêne (1,07-1,34 g/cm³). Similairement, **Onacik-Gür et al. (2015)** ont observé une diminution de la densité des biscuits enrichis par le tournesol.

3.3. Couleur des biscuits

Le tableau 22 représente les indices de la couleur de biscuit témoin et des biscuits enrichis en différents pourcentages de poudre de chêne naturel et traité. Tandis que, la figure 19 montre le biscuit témoin et les biscuits enrichis en chêne.

Le biscuit témoin a une couleur blanc avec des valeurs de clarté (74,03) et d'indice de blanchiment élevées (72,24). Les valeurs de la clarté (54,72-63,27) et d'indice de blanchiment (51,22-53,2) des biscuits ont été diminuées à mesure que la poudre des glands de chêne est incorporée dans la formule et la surface des biscuits devient brune (figure 19). **Korus et al. (2015)** ont rapporté une diminution des valeurs de la clarté (37,2-44,8) du pain enrichi en poudre de chêne. En plus, les valeurs de saturation (12,31-14,38), d'angle de teinte (1,95-2,35) et d'indice de brunissement (219,02-225,57) augmentaient par l'addition de la poudre des glands de chêne. Ces résultats sont similaires à ceux rapportés par **Hegazy et al. (2014)** pour les biscuits enrichis en poudre de châtaigne. Cela est attribué à la présence des composés phénoliques et à l'activité des polyphénoloxydases au cours de la cuisson des biscuits enrichis en poudre des glands de chêne (**Jimoh et al., 2009**).

D'autre côté, en comparaison au biscuit enrichi en poudre des glands de chêne naturels l'addition des poudres des glands de chêne traités par la fermentation et la germination au biscuit augmente légèrement sa clarté (L^*) et diminue ses valeurs de saturation (c^*), d'angle de teinte (h°) et d'indice de brunissement (IB) (tableau 22). Ceci est dû à la réduction de taux des polyphénols dans les poudres des glands de chêne traités (**Jimoh et al., 2009**).

Tableau 22 : Indices de la couleur des biscuits préparés.

Biscuits	L*	c*	h°	ΔE	IB	IBL
BT	74,03±0,04 ^g	8,93±0,02 ^a	0,58±0,02 ^a	25,2±0,02 ^b	199,27±0,03 ^a	72,24±0,02 ^h
10% BCN	63,27±0,008 ^c	12,31±0,02 ^{cd}	1,95±0,03 ^e	21,33±0,02 ^c	219,02±0,05 ^c	53,2±0,05 ^c
20% BCN	55,24±0,03 ^a	14,04±0,02 ^{cd}	2,02±0,04 ^e	21,27±0,03 ^d	224,32±0,02 ^c	52,05±0,05 ^a
30% BCN	54,72±0,03 ^a	14,38±0,02 ^d	2,35±0,02 ^e	21,16±0,03 ^d	225,57±0,02 ^c	51,22±0,03 ^a
10% BCF	66,84±0,02 ^f	12,15±0,03 ^b	1,73±0,02 ^b	23,01±0,04 ^a	215,39±0,01 ^b	55,06±0,04 ^g
20% BCF	64,63±0,03 ^e	13,85±0,02 ^b	1,82±0,03 ^b	22,91±0,02 ^a	217,52±0,03 ^b	54,86±0,02 ^f
30% BCF	63,33±0,04 ^e	14,05±0,02 ^b	2,02±0,02 ^b ^c	22,83±0,02 ^a	218,61±0,02 ^b	53,62±0,03 ^e
10% BCG	67,47±0,01 ^d	12,06±0,06 ^{bc}	1,45±0,02 ^c ^d	24,22±0,04 ^c	210,76±0,04 ^c	55,76±0,04 ^d
20% BCG	65,4±0,1 ^c	13,6±0,2 ^{bc}	1,61±0,02 ^{cd}	24,12±0,02 ^c	214,16±0,03 ^c	55,15±0,03 ^c
30% BCG	64±1 ^b	13,8±0,1 ^{bc}	1,83±0,02 ^{cd}	24,05±0,03 ^c	215,92±0,03 ^c	54,74±0,03 ^b

BT : biscuit témoin. BCN : biscuit enrichi en poudre des glands de chêne naturels. BCF : biscuit enrichi en poudre des glands de chêne fermentés. BCG : biscuit enrichi en poudre des glands de chêne germés. 10%, 20% et 30% : pourcentage d'incorporation de la poudre des glands de chêne au biscuit. L* : indique la clarté. c* : chromaticité (saturation). h° : angle de teinte. ΔE : différence totale de la couleur. IB : indice de brunissement. IBL : indice de blanchiment. Les valeurs en exposant avec des différentes lettres dans la même colonne sont significativement différentes au seuil de signification de 5% ($\alpha \leq 0,05$).

D'autre coté, en comparaison au biscuit enrichi en poudre des glands de chêne naturels l'addition des poudres des glands de chêne traités par la fermentation et la germination au biscuit augmente légèrement sa clarté (L*) et diminue ses valeurs de saturation (c*), d'angle de teinte (h°) et d'indice de brunissement (IB) (tableau 22). Ceci est dû à la réduction de taux des polyphénols dans les poudres des glands de chêne traités (Jimoh et al., 2009).

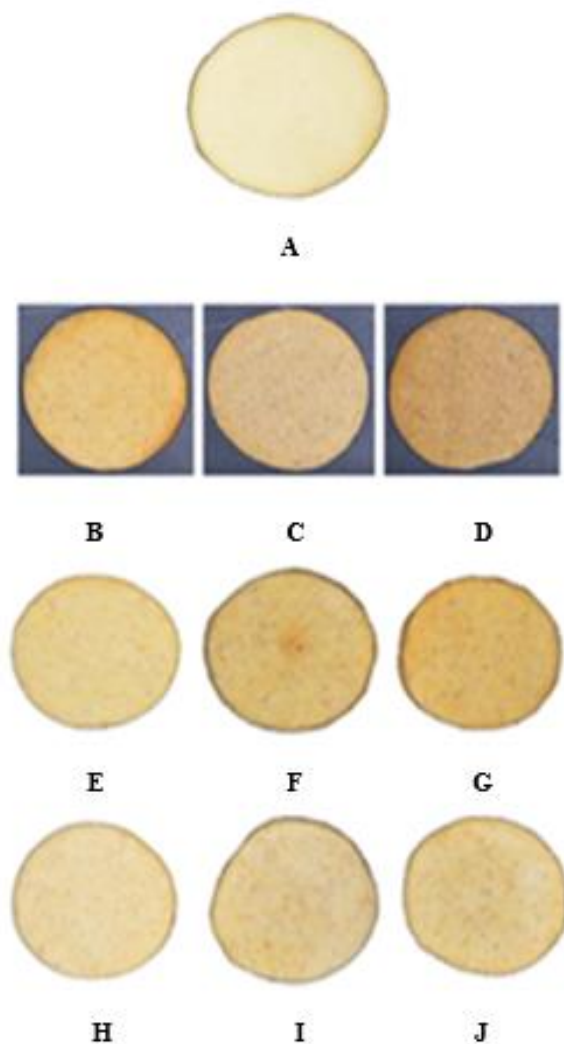


Figure 19 : Biscuit témoin et biscuits enrichis en différents pourcentages de poudre des glands de chêne naturels et traités.

A : biscuit témoin. B, C et D : biscuit enrichi en 10%, en 20% et en 30% de poudre des glands de chêne naturels, respectivement. E, F et G : biscuit enrichi en 10%, en 20% et en 30% de poudre des glands de chêne fermentés, respectivement. H, I et J : biscuit enrichi en 10%, en 20% et en 30% de poudre des glands de chêne germés, respectivement.

3.4. Propriétés sensorielles des biscuits

3.4.1. Test d'acceptation

Les 10 types des biscuits ont été présentés en même temps à un panel de 10 dégustateurs. La fiche servant au classement par rang de l'acceptabilité est celui de l'annexe 2. On a demandé aux dégustateurs de classer les biscuits en termes d'acceptabilité, en donnant à chaque échantillon une cote différente. L'échantillon le plus acceptable prend la cote 1, le suivant la cote 2 et celui qui paraissait le moins

Etude expérimentale

acceptable la cote 10. Les cotes de classement données à chaque échantillon par les 10 dégustateurs ont été regroupées dans le tableau 23.

Tableau 23 : Données du test de classement par rang d'acceptation de biscuit témoin et des biscuits enrichis en poudres des glands de chêne.

Dégustateurs	Biscuits									
	BT	10% BCF	20% BCF	30% BCF	10% BCG	20% BCG	30% BCG	10% BCN	20% BCN	30% BCN
1	1	2	3	5	8	6	4	9	7	10
2	1	2	3	4	8	5	6	9	7	10
3	1	2	4	3	6	5	8	7	9	10
4	1	3	5	4	2	6	8	7	9	10
5	2	5	1	4	3	6	7	9	8	10
6	1	3	6	4	2	7	9	5	10	8
7	2	3	6	4	1	7	9	5	10	8
8	4	1	2	5	8	6	3	9	7	10
9	3	4	1	5	6	2	8	7	9	10
10	1	5	2	6	4	3	8	7	9	10
Total de cotes	17	27	34	43	52	56	66	76	83	96

BT : biscuit témoin. BCN : biscuit enrichi en poudre des glands de chêne naturels. BCF : biscuit enrichi en poudre des glands de chêne fermentés. BCG : biscuit enrichi en poudre des glands de chêne germés. 10%, 20% et 30% : pourcentage d'incorporation de la poudre des glands de chêne au biscuit.

La valeur critique calculée pour $\alpha=0,05$ (avec le test de Friedman), pour les 10 dégustateurs et les 10 biscuits est 43,44 d'après la fiche d'analyse sensorielle (voir annexe 2). La différence entre les paires de totaux était la suivante :

Tableau 24 : La différence entre les paires des biscuits préparés.

	30% BCN	20% BCN	10% BCN	30% BCG	20% BCG	10% BCG	30% BCF	20% BCF	10% BCF	BT
30% BCN		13	20	30	40	44*	53*	62*	69*	79*
20% BCN			7	17	27	31	40	49*	56*	66*
10% BCN				10	20	24	33	42	49*	59*
30% BCG					10	14	23	32	39	49*
20% BCG						4	13	22	29	39
10% BCG							9	18	25	35
30% BCF								9	16	26
20% BCF									7	17
10% BCF										10
BT										

BT : biscuit témoin. BCN : biscuit enrichi en poudre des glands de chêne naturels. BCF : biscuit enrichi en poudre des glands de chêne fermentés. BCG : biscuit enrichi en poudre des glands de chêne germés. 10%, 20% et 30% : pourcentage d'incorporation de la poudre des glands de chêne au biscuit. Les valeurs en exposant avec étoile sont significativement différentes au seuil de signification de 5% ($\alpha \leq 0,05$) analysées par le test de Friedman.

Etude expérimentale

Notre panel de dégustation a classé le biscuit à base de blé (BT) en premier lieu comme le plus acceptable, suivi des biscuits enrichis en différents pourcentages de poudre des glands de chêne fermentés (BCF), puis les biscuits enrichis en différents pourcentages de poudre des glands de chêne germés (BCG) et enfin les biscuits enrichis en différents pourcentages de poudre des glands de chêne naturels (BCN). Le classement des 10 échantillons est le suivant : BT, 10% BCF, 20% BCF, 30% BCF, 10% BCG, 20% BCG, 30% BCG, 10% BCN, 20% BCN et 30% BCN.

3.4.2. Test hédonique

Le teste hédonique permet de mettre en évidence les différences existant entre le biscuit témoin et les biscuits enrichis en poudres des glands de chêne et aussi de définir le profil sensoriel. Le tableau 25 représente les propriétés sensorielles de biscuit témoin et des biscuits enrichis en chêne. Les résultats du test ANOVA mentionnent au seuil de probabilité de 5%, les différences significatives entre les 10 biscuits. Tandis que, la figure 20 représente les profils sensoriels de biscuit témoin et des biscuits enrichis en différents pourcentages des poudres de chêne naturel et traité.

Tableau 25 : Propriétés sensorielles de biscuit témoin et des biscuits enrichis en poudres des glands de chêne.

Biscuits	Odeur	Apparence	Gout	Couleur	Texture	Acceptabilité globale
BT	8,2±0,2 ^c	7,8±0,2 ^d	8,7±0,2 ^d	8,1±0,2 ^c	5,93±0,05 ^c	8,46±0,01 ^e
10% BCN	6,36±0,06 ^a	5,03±0,07 ^b	5,53±0,05 ^b	3,66±0,01 ^b	5,23±0,03 ^{bc}	6,3±0,2 ^b
20% BCN	6,3±0,3 ^a	5,01±0,01 ^b	5,45±0,03 ^{ab}	3,6±0,2 ^{ab}	5,15±0,05 ^{ab}	6,26±0,02 ^{ab}
30% BCN	6,28±0,04 ^a	5±0,08 ^b	5,3±0,2 ^a	3,45±0,07 ^a	5,11±0,07 ^a	6,15±0,04 ^a
10% BCF	7,66±0,04 ^b	4,8±0,09 ^a	7,13±0,07 ^c	4,4±0,11 ^d	5,51±0,09 ^d	7,23±0,07 ^d
20% BCF	7,65±0,07 ^b	4,77±0,05 ^a	7,1±0,13 ^c	4,37±0,03 ^d	5,45±0,06 ^d	7,21±0,09 ^d
30% BCF	7,63±0,14 ^b	4,74±0,04 ^a	7,08±0,08 ^c	4,1±0,05 ^c	5,48±0,04 ^d	7,17±0,04 ^d
10% BCG	6,4±0,2 ^a	5,33±0,05 ^c	5,6±0,1 ^b	3,73±0,05 ^b	5,33±0,05 ^c	6,66±0,06 ^c
20% BCG	6,26±0,04 ^a	5,3±0,05 ^c	5,52±0,07 ^b	3,68±0,02 ^b	5,29±0,04 ^c	6,6±0,05 ^c
30% BCG	6,2±0,2 ^a	5,28±0,05 ^c	5,4±0,12 ^{ab}	3,66±0,06 ^b	5,27±0,06 ^c	6,58±0,05 ^c

BT : biscuit témoin. BCN : biscuit enrichi en poudre des glands de chêne naturels. BCF : biscuit enrichi en poudre des glands de chêne fermentés. BCG : biscuit enrichi en poudre des glands de chêne germés. 10%, 20% et 30% : pourcentages de la poudre des glands de chêne incorporée au biscuit. Les valeurs en exposant avec des différentes lettres dans la même colonne sont significativement différentes au seuil de signification de 5% ($\alpha \leq 0,05$).

Etude expérimentale

Le biscuit à base de blé (BT) présente les scores les plus élevés pour tous les paramètres sensoriels testés (tableau 25 et figure 20). Le remplacement de la farine de blé par la poudre des glands de chêne avait une incidence significative sur les propriétés sensorielles de biscuit. L'incorporation de la poudre des glands de chêne et l'accroissement de taux d'addition de ces poudres diminue les propriétés sensorielles des biscuits enrichis (tableau 25). De même, **Hegazy et al. (2014)** ont rapporté des résultats similaires pour les biscuits enrichis en poudre de châtaigne. Notre panel de dégustation trouve que les biscuits enrichis en pourcentage élevé (30%) des poudres des glands de chêne présentent une apparence (4,74-5,28), un goût (5,4-7,08) et une texture (5,11-5,48) moins préférés avec une couleur trop foncée et moins acceptée (3,45-4,1) par rapport au biscuit témoin. Par ailleurs, le panel de dégustation trouve que l'acceptabilité générale diminue par l'incorporation de la poudre des glands de chêne à 30%. Ces résultats sont similaires à ceux rapportés par **Molavi et al. (2015)** pour le gâteau enrichi en poudre des glands de chêne (*Quercus brantii*).

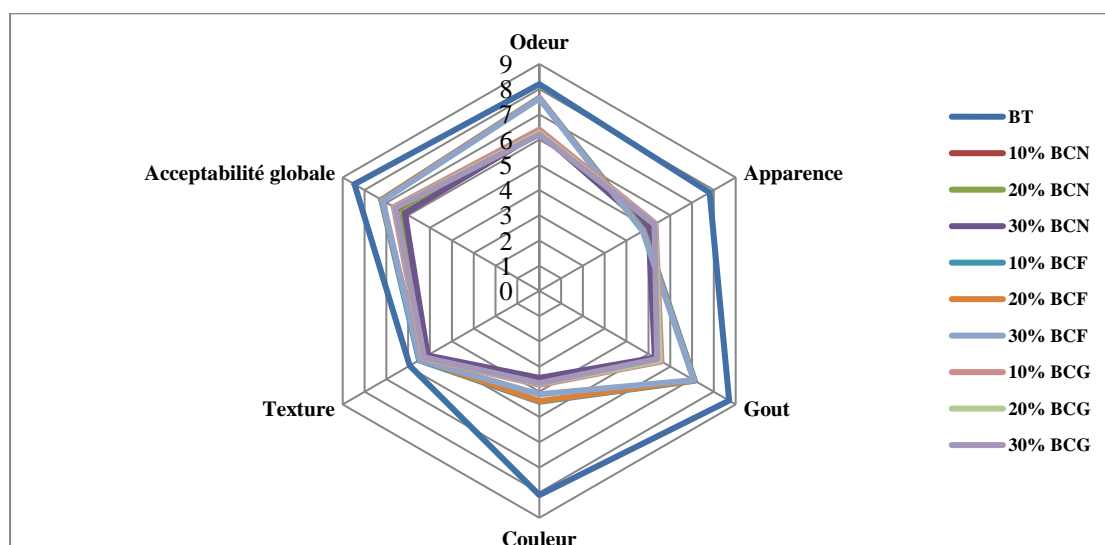


Figure 20 : Profils sensoriels de biscuit témoin et des biscuits enrichis en poudres des glands de chêne sur 6 descripteurs.

BT: biscuit témoin, BCN, BCF, BCG: biscuit enrichi en poudre des glands de chêne naturels, des glands de chêne fermentés et des glands de chêne germés, respectivement. 10%, 20% et 30%: pourcentages de remplacement de la farine de blé par les poudres des glands de chêne dans les biscuits.

Les biscuits enrichis en poudre de chêne fermenté ont une odeur (7,63-7,66) et une texture (5,45-5,51) proches à ceux de biscuit témoin. Mais ces biscuits présentent une couleur différente (4,1-4,4). Le traitement de la fermentation améliore

l'acceptabilité des biscuits enrichis (7,17-7,23). La fermentation donne un goût légèrement acide (7,08-7,13) au biscuit, ce qui pourrait améliorer l'acceptabilité des consommateurs (Hyun-Jung et al., 2014). Ogunjobi et Ogunwola (2010) ont indiqué que le pH acide des biscuits enrichis en poudre de pomme était associé au développement de son goût agréable.

Les biscuits enrichis en poudre des glands de chêne germés sont moins acceptés (6,58-6,66) en comparaison aux biscuits enrichis en poudre des glands de chêne fermentés. De même, Okpala et Okoli (2012) ont constaté une diminution des propriétés sensorielles des biscuits enrichis en farine de pois d'Angole germé.

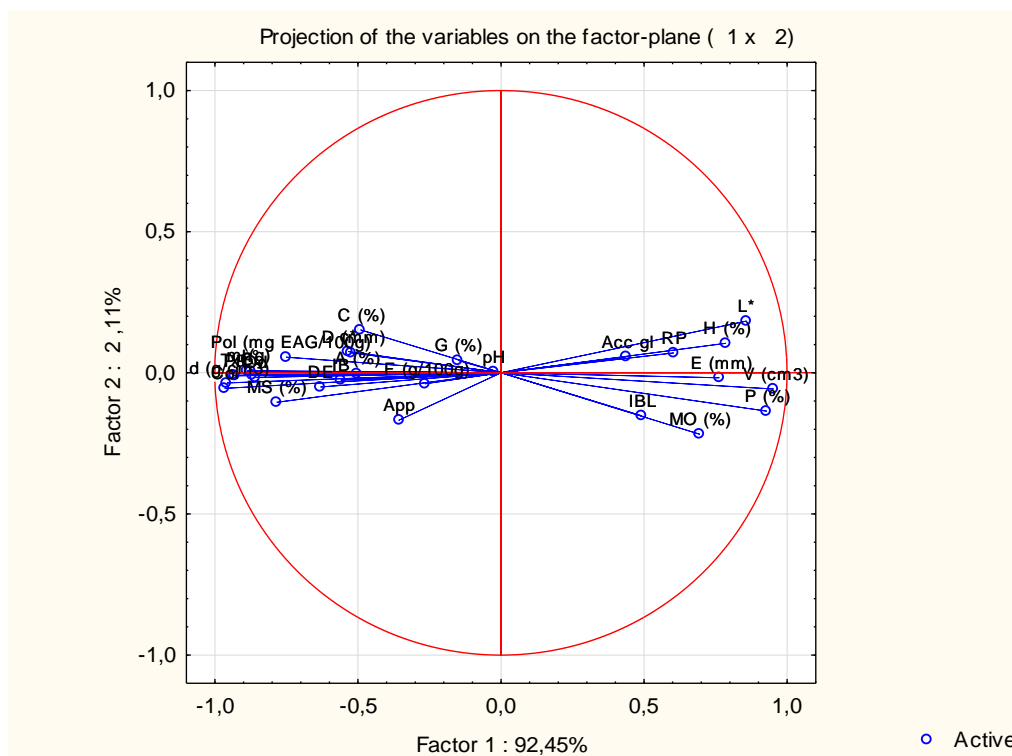
En générale, le biscuit témoin (BT) et les biscuits enrichis en poudre des glands de chêne fermentés (BCF) sont les plus préférés en termes d'acceptabilité globale suivie des biscuits enrichis en poudre des glands de chêne germés (BCG). Tandis que les biscuits enrichis en poudre des glands de chêne naturels (BCN) ont été les moins acceptés. L'analyse sensorielle a révélé que le meilleur profil sensoriel a été observé dans le cas de biscuit enrichi en 10% de poudre de chêne fermenté (figure 20).

3.5. Analyse factorielle en composantes principales (ACP) des propriétés physicochimiques et sensorielles des biscuits

Les relations entre les propriétés physicochimiques et sensorielles de biscuit témoin et des biscuits enrichis en différents pourcentages de la poudre des glands de chêne naturels et traités et ses scores ont été obtenues par l'analyse factorielle en composantes principales (ACP) (Popovic et al., 2013). L'ensemble des données d'origine a été renormalisé par une transformation de mise à l'échelle automatique (voir annexe 3) et analysés par une approche multivariée (Popovic et al., 2013). Les deux premières composantes principales (PCs) étaient suffisantes pour expliquer la variation maximale dans toutes les données originales (Aponte et al., 2014).

La figure 21 montre des tracés des chargements (figure 21A) et des scores (figure 21B) obtenus à partir de PC, les deux premières composantes principales (PC1 et PC2) représentant 94,56% de la variance totale des données. En particulier, PC1 expliquait 92,45% de la variation des données, tandis que PC2 expliquait 2,11% (Aponte et al., 2014).

A



B

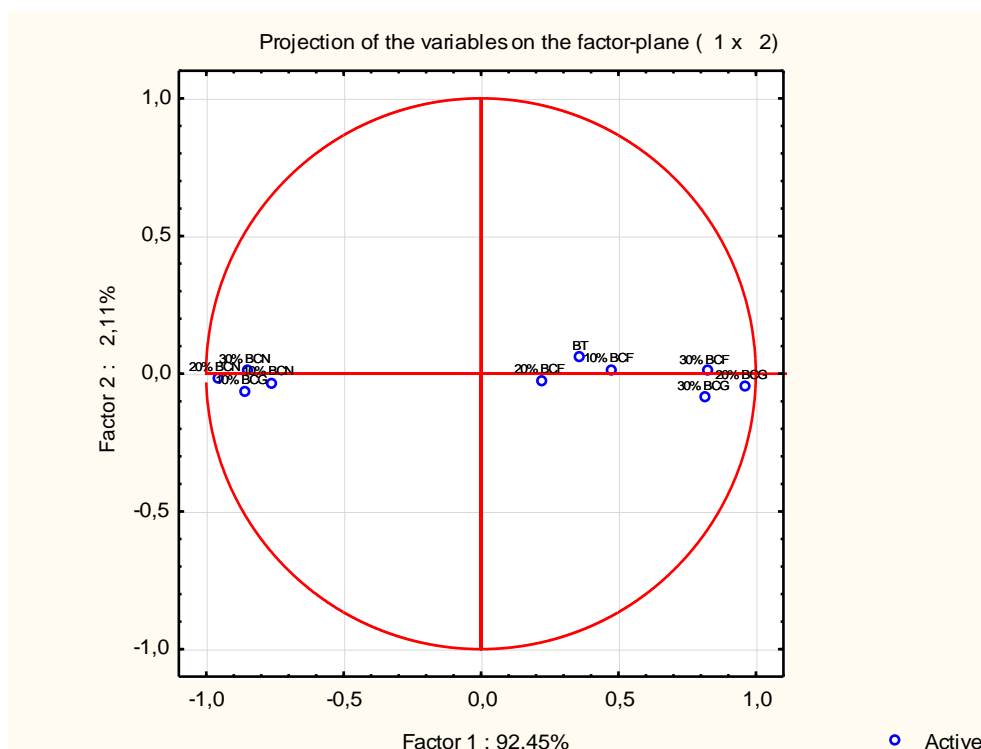


Figure 21 : Graphique de la courbe des charges des propriétés physicochimiques et sensorielles (A) et des scores (B) des biscuits préparés.

BT : biscuit témoin. BCN : biscuit enrichi en poudre des glands de chêne naturels. BCF : biscuit enrichi en poudre des glands de chêne fermentés. BCG : biscuit enrichi en poudre des glands de de chêne germés. 10%, 20% et 30% : pourcentage de la poudre des glands de chêne incorporée au biscuit.

Etude expérimentale

Pour la figure 21A, dans le cercle unitaire, les paramètres (clarté (L^*), humidité (H), ratio de propagation (RP), acceptabilité globale (Acc gl), épaisseur (E), volume (V), protéines (P), matière organique (MO), indice de blanchiment (IBL), pH, gluten (G), cendres (C), diamètre (D), polyphénols (Pol), amidon (A), masse (m), perte de poids (PP), chromaticité (c^*), angle de teinte (h°), odeur (Od), gout (Go), texture (Txt), fibres (F), indice de brunissement (IB), densité (d), couleur (Col), la différence de la couleur totale (ΔE), matière sèche (MS) et apparence (App)) sont bien présentés dans le premier axe (PC1) par rapport au second axe (PC2). La figure 21A a très bien divisé les paramètres précédents de la manière suivante :

- Axe 1, pour PC1 :

- Les paramètres de clarté (L^*), humidité (H), ratio de propagation (RP), acceptabilité globale (Acc gl), épaisseur (E), volume (V), protéines (P), matière organique (MO) et de l'indice de blanchiment (IBL) ont un grand effet sur le PC1, car ils étaient positivement corrélés par cet axe. Toute augmentation de ces variables entraîne une augmentation de PC1 ;
- Les paramètres de pH, gluten (G), cendres (C), diamètre (D), polyphénols (Pol), amidon (A), masse (m), perte de poids (PP), chromaticité (c^*), angle de teinte (h°), odeur (Od), gout (Go), texture (Txt), fibres (F), indice de brunissement (IB), densité (d), couleur (Col), la différence de la couleur totale (ΔE), matière sèche (MS) et de l'apparence (App) ont un faible effet sur le PC1, car ils étaient négativement corrélés par cet axe. Toute augmentation de ces variables entraîne une diminution de PC1 ;
- Les paramètres d'acceptabilité globale (Acc gl) et de ratio de propagation (RP) sont étroitement positionnés en raison de corrélation positive significative entre eux (**Popovic et al., 2013**). L'étalement est un paramètre très important et agit sur l'acceptabilité de biscuit ;
- Aussi, les paramètres de volume (V), des protéines (P) et d'épaisseur (E) sont étroitement positionnés. Le taux des protéines est un paramètre important et influe sur l'épaisseur et le volume de biscuit ;
- Outre, les paramètres d'odeur (Od) et de gout (Go) sont étroitement positionnés en raison de corrélation positive entre eux (**Popovic et al., 2013**). L'odeur est un paramètre déterminant de gout de biscuit ;

Etude expérimentale

- En plus, les paramètres de la masse (m), de la perte de poids (PP) et de la densité (d) sont étroitement positionnés en raison des corrélations positives entre eux (**Popovic et al., 2013**) ;
- La direction opposée de l'humidité (H) et des cendres (C), d'un côté et de la matière sèche (MS) et de la matière organique (MO) de l'autre côté indique que l'humidité (H) et les cendres (C) sont les principaux contributeurs de la matière sèche (MS) et de la matière organique (MO), respectivement (**Popovic et al., 2013**).

Pour la figure 21B, la distribution des scores a permis de regrouper les échantillons en 10 groupes (biscuit témoin (BT), biscuits enrichis en 10, 20 et 30% de poudre de chêne naturel (10% BCN, 20% BCN et 30% BCN), biscuits enrichis en 10, 20 et 30% de poudre de chêne fermenté (10% BCF, 20% BCF et 30% BCF) et biscuits enrichis en 10, 20 et 30% de poudre de chêne germé (10% BCG, 20% BCG et 30% BCG)). La différence entre ces groupes est basée sur le PC1 (la clarté (L^*), humidité (H), ratio de propagation (RP), acceptabilité globale (Acc gl), épaisseur (E), volume (V), protéines (P), matière organique (MO), indice de blanchiment (IBL), pH, gluten (G), cendres (C), diamètre (D), polyphénols (Pol), amidon (A), masse (m), perte de poids (PP), chromaticité (c^*), angle de teinte (h°), odeur (Od), gout (Go), texture (Txt), fibres (F), indice de brunissement (IB), densité (d), couleur (Col), la différence de la couleur totale (ΔE), matière sèche (MS) et l'apparence (App)). Les 6 groupes (biscuit témoin (BT), biscuits enrichis en 10, 20 et 30% de poudre de chêne fermenté (10% BCF, 20% BCF et 30% BCF) et biscuits enrichis en 20% et 30% de poudre de chêne germé (20% BCG et 30% BCG)) ont été notés positivement sur le PC1 et présentent des scores positives sur cet axe. Tandis que, les 4 groupes (biscuits enrichis en 10, 20 et 30% de poudre de chêne naturel (10% BCN, 20% BCN et 30% BCN) et biscuits enrichis en 10% de poudre de chêne germé (10% BCG)) ont été notés négativement sur le PC1 et présentent des scores négatives sur cet axe (**Aponte et al., 2014**). Le biscuit témoin est très préféré par les dégustateurs (Acc gl). Ce biscuit est fortement caractérisé par son bon étalement (RP) et sa teneur élevée en humidité (H). Le taux d'étalement de biscuit est un paramètre très important et agit sur son acceptation. Les biscuits enrichis en 10% et 20% de poudre de chêne fermenté (10% BCF et 20% BCF) sont les plus acceptables par rapport aux autres biscuits

enrichis puisque ils sont situés très proches au biscuit témoin (Aponte et al., 2014). Outre, les biscuits enrichis en 30% de poudre de chêne fermenté ont une grande épaisseur (E) et un volume (V) élevé. Les biscuits enrichis en 20% et 30% de poudre de chêne germé (20% BCG et 30% BCG) sont caractérisés par sa teneur élevée en protéines (P). En plus, les biscuits enrichis en différents pourcentages de poudre de chêne naturel (10% BCN, 20% BCN et 30% BCN) sont fortement caractérisés par sa teneur élevée en polyphénols (Pol) et en fibres (F) avec sa couleur brune (IB). En particulier, la consommation de ces biscuits améliore la santé. Cette différence dans les propriétés des biscuits est due aux traitements effectués de chêne.

Les résultats d'analyse en composantes principales (ACP) ont révélé l'influence de traitement et d'incorporation des poudres des glands de chêne sur les propriétés de biscuit (Aponte et al., 2014).

4. Traitements technologiques des biscuits enrichis en poudres des glands de chêne

4.1.Effet de pétrissage

4.1.1. Optimisation par plan d'expériences de la qualité nutritive des biscuits enrichis en chêne et pétris pendant différentes durées

4.1.1.1.Ajustement du modèle

L'analyse de la variance induite par l'étude de l'effet de la durée de pétrissage et de pourcentage d'addition des poudres des glands de chêne sur la qualité nutritive des biscuits est montrée dans les tableaux 26, 27 et 28.

Etude expérimentale

Tableau 26: Paramètres d'analyse de la variance (ANOVA) du test de traçage pour la formule des surfaces de réponse des biscuits enrichis en différents pourcentages des poudres des glands de chêne naturels et pétris pendant différentes durées.

Somme séquentielle de carrés	Source			
	Manque d'ajustement	Pure erreur	F: variance Ficher	R-Sq (%)
Humidité (%)	0,000016*	0,0000002	0,0001*	99,87
Cendres (%)	6,746e-6*	0,0000005	0,0001*	99,99
Amidon (%)	0,001216*	0,0000006	0,0008*	98,65
Gluten (%)	0,000241*	0,0000001	0,0001*	99,93
Protéines (%)	0,000108*	0,0000009	0,0002*	99,38
Fibres (%)	0,000016*	0,0000001	0,0001*	99,92
Polyphénols (mg EAG/100g)	0,000105*	0,0000001	0,0001*	99,99

F: variance de Ficher-Snedecor. *: Significatif à $\alpha \leq 0,05$.

Tableau 27: Paramètres d'analyse de la variance (ANOVA) du test de traçage pour la formule des surfaces de réponse des biscuits enrichis en différents pourcentages des poudres des glands de chêne fermentés et pétris pendant différentes durées.

Somme séquentielle de carrés	Source			
	Manque d'ajustement	Pure erreur	F: variance Ficher	R-Sq (%)
Humidité (%)	0,000015*	0,0000001	0,0001*	99,97
Cendres (%)	0,000041*	0,0000003	0,0001*	99,71
Amidon (%)	0,001296*	0,0000001	0,0001*	99,95
Gluten (%)	0,000924*	0,0000005	0,0001*	99,77
Protéines (%)	0,000708*	0,0000008	0,0011*	98,40
Fibres (%)	$6,746 \times 10^{-6}$ *	0,0000002	0,0001*	99,79
Polyphénols (mg EAG/100g)	0,000169*	0,0000001	0,0001*	1

F: variance de Ficher-Snedecor. *: Significatif à $\alpha \leq 0,05$.

Tableau 28: Paramètres d'analyse de la variance (ANOVA) du test de traçage pour la formule des surfaces de réponse des biscuits enrichis en différents pourcentages des poudres des glands de chêne germés et pétris pendant différentes durées.

Somme séquentielle de carrés	Source			
	Manque d'ajustement	Pure erreur	F: variance Ficher	R-Sq (%)
Humidité (%)	0,000057*	0,0000001	0,0001*	99,90
Cendres (%)	0,000016*	0,0000002	0,0001*	99,89
Amidon (%)	0,020386*	0,0000003	0,0001*	99,87
Gluten (%)	0,001131*	0,0000005	0,0001*	99,78
Protéines (%)	0,000621*	0,0000007	0,0002*	99,24
Fibres (%)	$6,746 \times 10^{-6}$ *	0,0000005	0,0001*	99,78
Polyphénols (mg EAG/100g)	0,000089*	0,0000001	0,0001*	1

F: variance de Ficher-Snedecor. *: Significatif à $\alpha \leq 0,05$.

L'analyse statistique indique que l'ajustement de modèle était adéquat car il a des valeurs de R^2 plus élevées pour toutes les réponses avec sa signification. Ces résultats sont semblables à ceux rapportés par **Matos et Rosell (2012)** et **Phatcharee et al. (2014)**.

4.1.1.2. Biscuits optimaux

Les figures 24, 25 et 26 représentent les surfaces des réponses de modèle expérimental des biscuits enrichis en poudres des glands de chêne naturels (BCN), des glands de chêne fermentés (BCF) et des glands de chêne germés (BCG), respectivement.

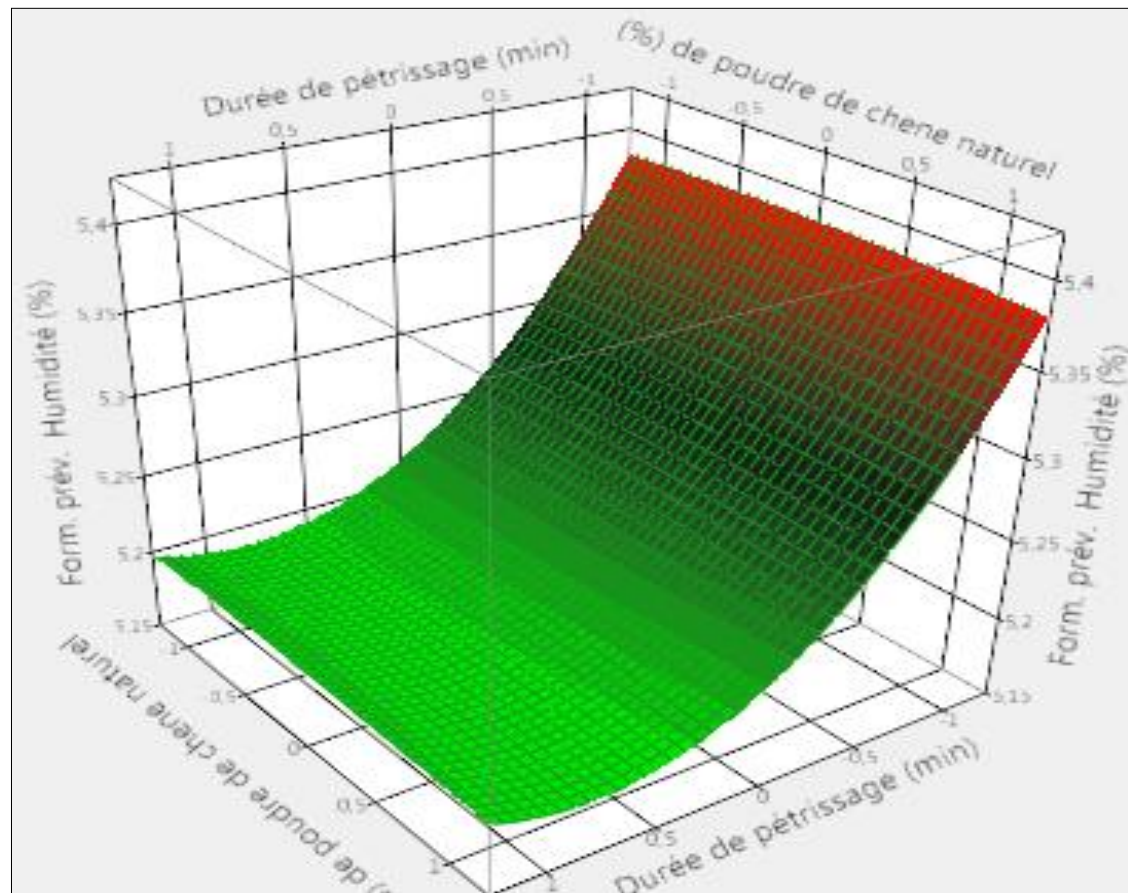


Figure 24: Surface de réponse de l'effet combiné de pétrissage et de l'enrichissement en poudre des glands de chêne naturels sur la teneur en humidité de biscuit.

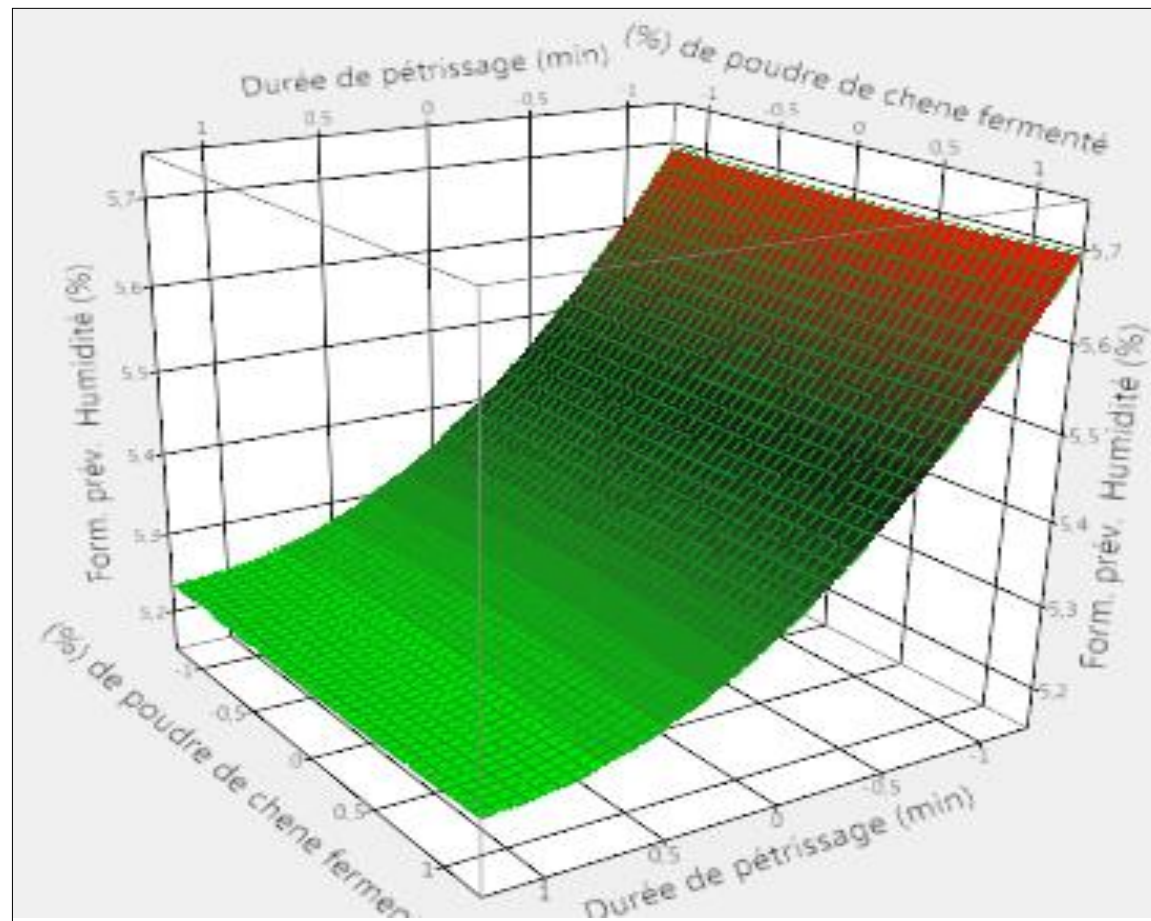


Figure 25: Surface de réponse de l'effet combiné de pétrissage et de l'enrichissement en poudre des glands de chêne fermentés sur la teneur en humidité de biscuit.

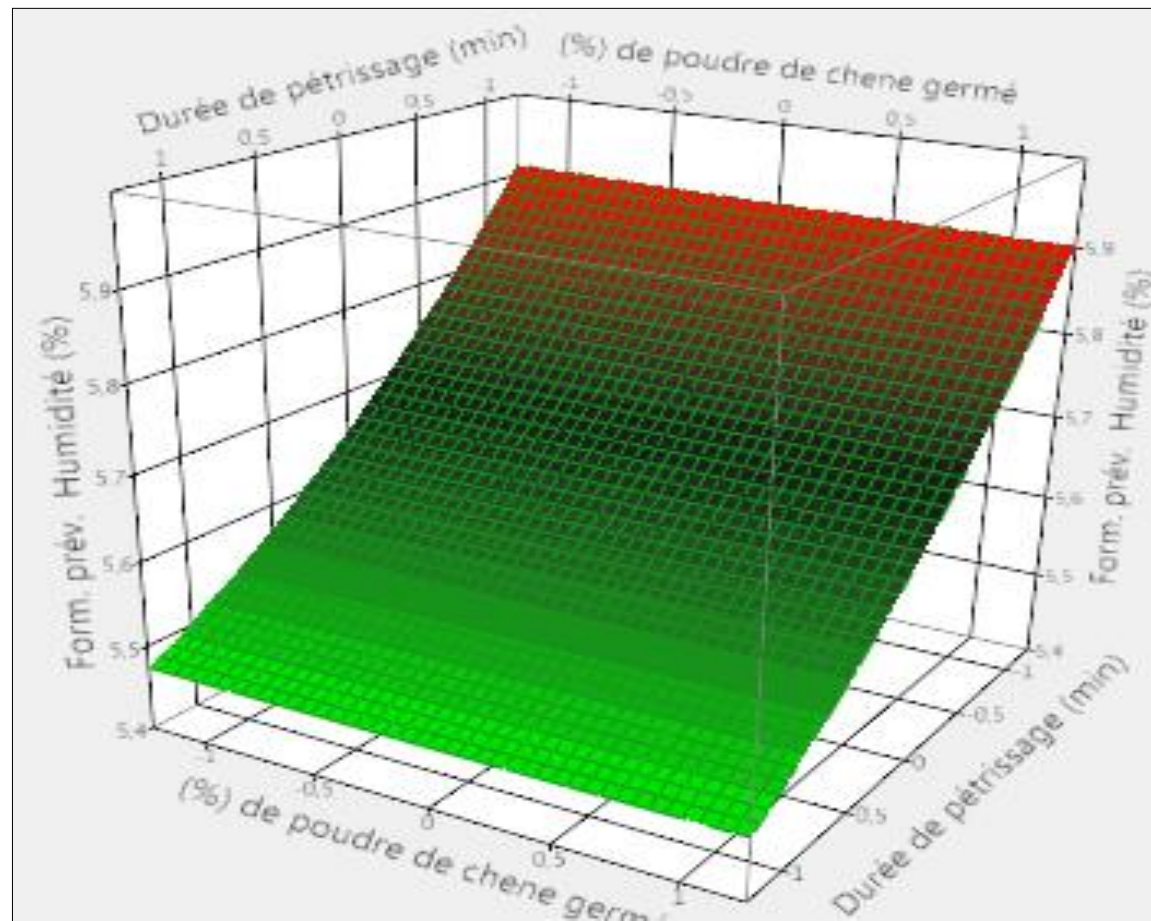


Figure 26: Surface de réponse de l'effet combiné de pétrissage et de l'enrichissement en poudre des glands de chêne germés sur la teneur en humidité de biscuit.

Etude expérimentale

La sélection de meilleur temps de pétrissage et de bon pourcentage d'addition des poudres de chêne (voir annexe 4) est optimisée par le plan d'expériences pour l'obtention de biscuit de meilleure qualité nutritive; en appliquant la fonction souhaitable pour chaque variable pour obtenir sa valeur désirable.

Pour obtenir une bonne qualité nutritive de biscuit enrichi en différents pourcentages de poudre des glands de chêne naturels et pétri pendant différentes durées, on applique les conditions déterminées dans la figure 24, le tableau 29 et l'annexe 5 :

Tableau 29 : Optimisation de procédé de préparation des biscuits enrichis en poudre des glands de chêne naturels.

Composé chimique	Durée de pétrissage (min)	Taux de poudre des glands de chêne naturels (%)	Valeur prédite	Valeur calculée	Désirabilité	Modèle expérimental d'optimisation
Humidité (%)	10	20	5,218571	5,19	0,279289	$Y = 5,21857142857143 + -0,0749999999999997 \times X_1 + -0,001666666666666663 \times X_2 + X_1 \times X_2 \times 0 + X_1 \times X_1 \times 0,0478571428571432 + X_2 \times X_2 \times -0,00214285714285709$
Cendres (%)	5	30	1,940357	1,94	0,92852	$Y = 1,82071428571429 + -0,003333333333333334 \times X_1 + 0,0716666666666666 \times X_2 + X_1 \times X_2 \times -0,0025 + X_1 \times X_1 \times 0,00357142857142858 + X_2 \times X_2 \times 0,0385714285714285$
Amidon (%)	10	20	61,11143	60,91	0,324892	$Y = 61,1114285714286 + -0,1450000000000001 \times X_1 + -0,1333333333333334 \times X_2 + X_1 \times X_2 \times 0,0899999999999981 + X_1 \times X_1 \times 0,0221428571428568 + X_2 \times X_2 \times -0,0128571428571433$

Etude expérimentale

Gluten (%)	10	20	32,82286	32,1	0,735898	Y= 32,8228571428571 + 0,0766666666666668 × X ₁ + - 0,408333333333335 × X ₂ + X ₁ × X ₂ × 0,019999999999978 + X ₁ × X ₁ × - 0,00571428571428564 + X ₂ × X ₂ × -0,200714285714286
Protéines (%)	15	10	5,094762	5,1	0,828072	Y= 4,95285714285714 + 0,0566666666666665 × X ₁ + - 0,0716666666666666 × X ₂ + X ₁ × X ₂ × 0,01 + X ₁ × X ₁ × - 0,00571428571428571 + X ₂ × X ₂ × 0,029285714285714
Fibres (%)	5	30	0,610952	0,61	0,927461	Y= 0,528571428571429 + - 0,0216666666666667 × X ₁ + 0,095 × X ₂ + X ₁ × X ₂ × - 1,38777878078145e-17 + X ₁ × X ₁ × - 0,00214285714285716 + X ₂ × X ₂ × -0,0321428571428572
Polyphénols (mg EAG100g)	5	30	215,5043	215,5	0,884923	Y= 203,708571428571 + - 0,00500000000000019 × X ₁ + 8,5 × X ₂ + X ₁ × X ₂ × 0 + X ₁ × X ₁ × -0,00214285714286044 + X ₂ × X ₂ × 3,29285714285714

Pour obtenir une bonne qualité nutritive de biscuit enrichi en différents pourcentages de poudre des glands de chêne fermentés et pétri pendant différentes durées, on applique les conditions déterminées dans la figure 25, le tableau 30 et l'annexe 5 :

Tableau 30 : Optimisation de procédé de préparation des biscuits enrichis en poudre des glands de chêne fermentés.

Composé chimique	Durée de pétrissage (min)	Taux de poudre des glands de chêne fermentés (%)	Valeur prédite	Valeur calculée	Désirabilité	Modèle expérimental d'optimisation
Humidité (%)	5	10	5,60774	5,239	0,890667	Y= 5,34841428571429 + -0,183466666666667 × X ₁ + 0,0000333333333332556 × X ₂ + X ₁ × X ₂ ×

Etude expérimentale

						0,000049999999998835 + X ₁ × X ₁ × 0,0726714285714289 + X ₂ × X ₂ × 0,00317142857142881
Cendres (%)	5	30	1,968571	1,97	0,946369	Y=1,83714285714286 + - 0,0016666666666667 × X ₁ + 0,0783333333333333 × X ₂ + X ₁ × X ₂ × 0 + X ₁ × X ₁ × 0,000714285714285726 + X ₂ × X ₂ × 0,0507142857142856
Amidon (%)	10	20	58,28929	57,24	0,3825	Y= 58,2892857142857 + -0,3716666666666667 × X ₁ + -1,075 × X ₂ + X ₁ × X ₂ × - 0,0124999999999975 +X ₁ × X ₁ × - 0,0785714285714266 +X ₂ × X ₂ × - 0,461428571428573
Gluten (%)	10	20	32,77357	32,15	0,635724	Y= 32,7735714285714 + 0,0966666666666664 × X ₁ + -0,4350000000000001 × X ₂ + X ₁ × X ₂ × - 0,00750000000000028 + X ₁ × X ₁ × - 0,00214285714285929 + X ₂ × X ₂ × - 0,117142857142858
Protéines (%)	15	27,11	5,483101	5,47	0,941017	Y= 5,365 + 0,075 × X ₁ + 0,12 × X ₂ + X ₁ × X ₂ × - 0,00249999999999995 + X ₁ × X ₁ × -0,01 + X ₂ × X ₂ × -0,0650000000000002
Fibres (%)	5	10	0,380357	0,38	0,845245	Y= 0,320714285714286 + -0,0233333333333333 × X ₁ + - 0,0316666666666667 × X ₂ + X ₁ × X ₂ × -

Etude expérimentale

						0,007499999999999999 + X ₁ × X ₁ × 0,00357142857142857 + X ₂ × X ₂ × 0,00857142857142858
Polyphénols (mg EAG100g)	1,45	30	160,2354	160,23	0,846041	Y=142,863571428571 + 0,00833333333333286 × X ₁ + 25,09833333333333 × X ₂ + X ₁ × X ₂ × - 0,0124999999999993 + X ₁ × X ₁ × - 0,00714285714285823 + X ₂ × X ₂ × - 7,72714285714288

Pour obtenir une bonne qualité nutritive de biscuit enrichi en différents pourcentages de poudre des glands de chêne germés et pétri pendant différentes durées, on applique les conditions déterminées dans la figure 26, le tableau 31 et l'annexe 5 :

Tableau 31 : Optimisation de procédé de préparation des biscuits enrichis en poudre des glands de chêne germés.

Composé chimique	Durée de pétrissage (min)	Taux de poudre des glands de chêne germés (%)	Valeur prédite	Valeur calculée	Désirabilité	Modèle expérimental d'optimisation
Humidité (%)	10	20	5,649643	5,5%,	0,449075	Y= 5,64964285714286 + - 0,174166666666666 × X ₁ + -0,0025000000000009 × X ₂ + X ₁ × X ₂ × 0,0012499999999997 + X ₁ × X ₁ × 0,0257142857142854 + X ₂ × X ₂ × 0,00071428571428515
Cendres (%)	1,94	30	1,951753	1,95	0,868826	Y= 1,82857142857143 + - 0,0016666666666667 × X ₁ + 0,085 × X ₂ + X ₁ × X ₂ × 0 + X ₁ × X ₁ × -

Etude expérimentale

						$0,00214285714285714 + X_2$ $\times X_2 \times$ $0,0378571428571428$
Amidon (%)	10	20	47,61714	46,8	0,263919	$Y= 47,6171428571429 + -$ $0,190000000000001 \times X_1 +$ $-2,54 \times X_2 + X_1 \times X_2 \times -$ $0,0150000000000006 + X_1 \times$ $X_1 \times -0,00428571428571556$ $+ X_2 \times X_2 \times$ $1,86571428571429$
Gluten (%)	10	20	32,775	32,15	0,54948	$Y= 32,775 +$ $0,093333333333325 \times X_1 +$ $-0,496666666666667 \times X_2 +$ $X_1 \times X_2 \times -$ $0,0024999999999995 + X_1 \times$ $X_1 \times -0,0050000000000055$ $+ X_2 \times X_2 \times -$ $0,0550000000000012$
Protéines (%)	15	29,04	5,731262	5,72	0,886477	$Y= 5,56571428571429 +$ $0,0899999999999999 \times X_1 +$ $0,173333333333333 \times X_2 +$ $X_1 \times X_2 \times -$ $0,0350000000000001 + X_1 \times$ $X_1 \times 0,0085714285714285 +$ $X_2 \times X_2 \times -$ $0,0714285714285711$
Fibres (%)	5	10	0,347976	0,35	0,898509	$Y= 0,279285714285714 + -$ $0,0216666666666667 \times X_1 +$ $-0,0316666666666667 \times X_2$ $+ X_1 \times X_2 \times$ $0,0024999999999999 + X_1$ $\times X_1 \times$ $0,00142857142857141 + X_2$ $\times X_2 \times 0,0114285714285714$
Polyphénols (mg EAG100g)	15	30	121,4933	121,5	0,896768	$Y= 106,18 +$ $0,00666666666666771 \times X_1$ $+ 17,1116666666667 \times X_2 +$ $X_1 \times X_2 \times$ $0,0100000000000016 + X_1 \times$ $X_1 \times 0,00999999999999657$ $+ X_2 \times X_2 \times -1,825$

Etude expérimentale

Le pétrissage prolongé produit un biscuit contenant des teneurs réduites en humidité et en amidon. En plus, il aide au développement des protéines. **Canja et al. (2014)** ont trouvé une réduction dans la teneur en eau de pain pétri pendant une longue durée. **Contamine et al. (1995)** ont mentionné que le pétrissage prolongé produit une grande quantité d'énergie absorbée par la pâte ce qui développe les protéines telles que le gluten.

L'optimisation du processus d'enrichissement et de pétrissage des biscuits peut conduire à une amélioration de sa fonctionnalité et sa qualité à promouvoir la santé.

4.1.2. Dimensions physiques des biscuits

L'effet de durée de pétrissage sur les dimensions des biscuits préparés est montré dans les tableaux 32 et 33. Le biscuit témoin pétri pendant différentes durées a une masse (9,93-9,77g) supérieure à celle des biscuits enrichis (9,52-9,78g). Tandis que, le pétrissage prolongé diminue la masse des biscuits.

Tableau 32 : Effet de la durée de pétrissage sur les dimensions physiques de biscuit témoin et des biscuits enrichis en poudre des glands de chêne naturels.

Biscuits	Pétrissage (min)	Masse (g)	Perte de poids	Diamètre (mm)	Epaisseur (mm)	Volume (cm ³)	Ratio de propagation	densité (g/cm ³)
BT	5	9,93±0,02 ^b	21,13±0,02 ^b	48,06±0,04 ^b	5,1±0,1 ^b	9,24±0,19 ^b	9,42±0,17 ^c	1,07±0,02 ^b
	10	9,81±0,01 ^a	20,87±0,02 ^a	46,87±0,01 ^a	5,21±0,01 ^a	8,98±0,02 ^a	8,99±0,01 ^{ab}	1,09±0,003 ^a
	15	9,77±0,02 ^{ab}	20,79±0,005 ^{ab}	42,1±0,02 ^{ab}	5,30±0,01 ^{bc}	7,37±0,02 ^{ab}	7,94±0,01 ^{bc}	1,32±0,001 ^b
10% BCN	5	9,72±0,02 ^{ab}	20,68±0,02 ^{ab}	42,25±0,01 ^{ab}	5,17±0,02 ^{bc}	7,24±0,03 ^{ab}	8,17±0,02 ^{abc}	1,34±0,003 ^b
	10	9,66±0,02 ^{ab}	20,55±0,02 ^{ab}	42,11±0,02 ^{ab}	5,43±0,03 ^{bc}	7,55±0,03 ^{ab}	7,75±0,04 ^{abc}	1,27±0,008 ^b
	15	9,52±0,03 ^{ab}	20,25±0,01 ^{ab}	42±2 ^{ab}	5,6±0,3 ^{bc}	8,51±1,1 ^{ab}	7,85±0,40 ^{abc}	1,11±0,13 ^b
20% BCN	5	9,77±0,02 ^{ab}	20,78±0,01 ^{ab}	41,5±0,2 ^{ab}	6,28±0,02 ^{bc}	8,49±0,05 ^{ab}	6,60±0,05 ^{ab}	1,15±0,005 ^b
	10	9,68±0,03 ^{ab}	20,59±0,01 ^{ab}	40,11±0,02 ^{ab}	6,3±0,1 ^{bc}	7,95±0,13 ^{ab}	6,36±0,09 ^{ab}	1,21±0,01 ^b
	15	9,54±0,03 ^{ab}	20,30±0,02 ^{ab}	39,7±0,1 ^{ab}	6,33±0,02 ^{bc}	7,83±0,06 ^{ab}	6,27±0,004 ^{ab}	1,21±0,006 ^b
30% BCN	5	9,78±0,12 ^{ab}	20,81±0,009 ^{ab}	39,4±0,3 ^{ab}	6,42±0,03 ^{bc}	7,82±0,15 ^{ab}	6,13±0,01 ^{ab}	1,25±0,01 ^b
	10	9,7±0,2 ^{ab}	20,64±0,009 ^{ab}	37,7±0,2 ^{ab}	6,6±0,2 ^{bc}	7,36±0,14 ^{ab}	5,71±0,20 ^a	1,31±0,05 ^b
	15	9,56±0,02 ^{ab}	20,34±0,01 ^{ab}	36,4±0,1 ^{ab}	6,8±0,2 ^c	7,07±0,24 ^{ab}	5,35±0,14 ^a	1,35±0,05 ^b

BT : biscuit témoin. BCN : biscuits enrichis en poudre des glands de chêne naturels. 10%, 20% et 30% : pourcentage de remplacement de la farine de blé par la poudre des glands de chêne naturels. Les différentes lettres au niveau de la même colonne signifient qu'il y a une différence significative entre les valeurs ($\alpha \leq 0,05$).

Etude expérimentale

Les biscuits pétris pendant une longue durée ont un diamètre réduit avec une grande épaisseur (tableaux 32 et 33). **Contamine et al. (1995)** ont rapporté que la pâte pétrie pendant une longue durée donne un biscuit court et épais. Ceci est due au développement de réseau de gluten présentant une capacité assez importante à retenir le gaz produit par la dégradation de l'agent levant lors de la cuisson de biscuit.

L'épaisseur des biscuits enrichis augmente et le diamètre diminue par l'augmentation des pourcentages des poudres des glands de chêne incorporés (tableau 32 et 33). Les biscuits enrichis en poudre des glands de chêne fermentés sont les plus épais (6,3-6,89 mm). Ces résultats sont en accord avec ceux trouvés par **Okpala et al. (2013)** pour les biscuits enrichis en poudre de sorgho fermenté.

Tableau 33 : Effet de la durée de pétrissage sur les dimensions physiques des biscuits enrichis en poudre des glands de chêne fermentés et germés.

Biscuits	Pétrissage (min)	Masse (g)	Petre de poids	Diamètre (mm)	Epaisseur (mm)	Volume (cm ³)	Ration de propagation	densité (g/cm ³)
10% BCF	5	9,52±0,02 ^{ij}	20,25±0,002 ⁱ	41,8±0,1 ^{efg}	6,3±0,3 ^{de}	8,64±0,37 ^g	6,63±0,33 ^g	1,10±0,04 ^a
	10	9,46±0,02 ^{gh}	20,12±0,01 ^{gh}	41,73±0,02 ^{efg}	6,38±0,02 ^{def}	8,72±0,03 ^g	6,54±0,01 ^g	1,08±0,002 ^a
	15	9,37±0,02 ^e	19,93±0,06 ^d	41,6±0,2 ^{efg}	6,4±0,2 ^{def}	8,69±0,35 ^g	6,50±0,1 ^g	1,07±0,04 ^a
20% BCF	5	9,57±0,03 ^{jk}	20,36±0,006 ^j	40,9±0,1 ^{de}	6,39±0,02 ^{def}	8,39±0,06 ^{fg}	6,40±0,004 ^{fg}	1,14±0,005 ^{ab}
	10	9,48±0,02 ^{hi}	20,17±0,007 ^h	39,7±0,2 ^c	6,51±0,03 ^{def}	8,05±0,11 ^{ef}	6,09±0,002 ^{ef}	1,17±0,01 ^{bc}
	15	9,41±0,02 ^{efg}	20,02±0,12 ^{ef}	38,9±0,3 ^c	6,6±0,1 ^{fg}	7,83±0,23 ^{de}	5,89±0,04 ^{de}	1,20±0,03 ^{bcd}
30% BCF	5	9,61±0,06 ^k	20,44±0,001 ^k	38,9±0,1 ^c	6,5±0,1 ^{efg}	7,72±0,08 ^{cde}	5,98±0,1 ^e	1,24±0,005 ^{cd}
	10	9,57±0,03 ^{jk}	20,36±0,01 ^j	37,7±0,2 ^b	6,71±0,04 ^{gh}	7,48±0,12 ^{bcd}	5,61±0,003 ^{bc}	1,27±0,01 ^{def}
	15	9,45±0,05 ^{gh}	20,10±0,01 ^{gh}	36,1±0,2 ^a	6,89±0,03 ^h	7,04±0,10 ^{ab}	5,23±0,006 ^a	1,34±0,01 ^f
10% BCG	5	9,31±0,02 ^{cd}	19,81±0,01 ^c	42±2 ^g	5,09±0,02 ^a	7,04±0,6 ^{ab}	8,25±0,36 ^j	1,32±0,12 ^{ef}
	10	9,25±0,03 ^b	19,68±0,06 ^b	41,95±0,05 ^{fg}	5,28±0,02 ^a	7,29±0,04 ^{abc}	7,94±0,02 ^k	1,26±0,003 ^{def}
	15	9,13±0,02 ^a	19,42±0,01 ^a	41,80±0,2 ^{efg}	5,50±0,2 ^b	7,54±0,34 ^{bcd}	7,60±0,24 ^l	1,21±0,05 ^{bcd}
20% BCG	5	9,43±0,04 ^{fgh}	20,06±0,03 ^{fj}	41,05±0,05 ^{def}	5,70±0,1 ^b	7,53±0,15 ^{bcd}	7,20±0,11 ⁱ	1,25±0,02 ^{cde}
	10	9,36±0,02 ^{de}	19,91±0,01 ^d	40,7±0,2 ^d	5,90±0,1 ^c	7,67±0,20 ^{cde}	6,89±0,08 ^h	1,22±0,03 ^{cd}
	15	9,28±0,03 ^{ab}	19,74±0,06 ^{bc}	39,2±0,1 ^c	6,20±0,2 ^d	7,47±0,27 ^{bcd}	6,32±0,18 ^{fg}	1,24±0,04 ^{cd}
30% BCG	5	9,48±0,04 ^{hi}	20,17±0,007 ^h	39,5±0,2 ^c	6,41±0,04 ^{def}	7,85±0,12 ^{de}	6,16±0,007 ^{ef}	1,20±0,02 ^{bcd}
	10	9,38±0,02 ^{ef}	19,95±0,04 ^{de}	37,7±0,2 ^b	6,60±0,2 ^{efg}	7,36±0,30 ^{abcd}	5,71±0,14 ^{cd}	1,27±0,05 ^{def}
	15	9,31±0,02 ^{cd}	19,81±0,009 ^c	36,2±0,2 ^a	6,72±0,03 ^{gh}	6,91±0,10 ^a	5,38±0,005 ^{ab}	1,34±0,01 ^f

BCF, BCG : biscuits enrichis en poudre des glands de chêne fermentés et biscuits enrichis en poudre des glands de chêne germés, respectivement. 10%, 20% et 30% : pourcentage de remplacement de la farine de blé par les poudres des glands de chêne. Les différentes lettres au niveau de la même colonne signifient qu'il ya une différence significative entre les valeurs ($\alpha \leq 0,05$).

Comparé au biscuit témoin, les biscuits enrichis sont plus denses, en raison du manque de gluten. Ces résultats sont en accord avec ceux rapportés par **Canja et al. (2014)**.

4.2. Effet de mode de cuisson

4.2.1. Propriétés physicochimiques des biscuits

Le tableau 34 représente l'effet de mode de cuisson sur les propriétés physicochimiques de biscuit témoin et des biscuits enrichis en poudre des glands de chêne naturels. Tandis que, le tableau 34 montre l'effet des traitements de fermentation et de germination sur les propriétés physicochimiques des biscuits enrichis en poudres des glands de chêne et cuits en deux modes (four et microonde).

Tableau 34 : Effet de cuisson au four électrique (FE) et au microonde (MO) sur les propriétés physicochimiques de biscuit témoin et des biscuits enrichis en poudre des glands de chêne naturels.

Biscuits	Mode de cuisson	Humidité (%)	Cendres (%)	pH	Amidon (%)	Gluten (%)	Protéines (%)	Fibres (%)	Polyphénols (mg EAG/100g)
BT	FE	5,57±0,011 ^b	1,61±0,01 ^a	6,85±0,011 ^a	68,08±0,015 ^b	37,13±0,015 ^d	5,73±0,02 ^d	0,23±0,02 ^a	44,82±0,03 ^a
	MO	5,59±0,01 ^b	1,61±0,02 ^a	6,87±0,03 ^a	68,13±0,05 ^b	38,08±0,05 ^e	6,05±0,06 ^f	0,45±0,03 ^d	86,55±0,06 ^b
10% BCN	FE	5,19±0,01 ^a	1,79±0,01 ^b	6,88±0,01 ^a	61,03±0,011 ^a	33,09±0,01 ^{bc}	5,1±0,1 ^a	0,38±0,02 ^b	198,5±0,2 ^c
	MO	5,21±0,02 ^a	1,79±0,03 ^b	6,9±0,3 ^a	61,14±0,03 ^a	33,54±0,03 ^c	5,61±0,05 ^c	0,83±0,05 ^d	211,5±0,13 ^e
20% BCN	FE	5,19±0,02 ^a	1,82±0,02 ^b	6,82±0,03 ^a	61±1 ^a	32,89±0,02 ^{abc}	5±0,05 ^b	0,5±0,1 ^c	203,69±0,03 ^d
	MO	5,21±0,04 ^a	1,82±0,03 ^b	6,84±0,04 ^a	61,07±0,03 ^a	33±1 ^{bc}	5,87±0,03 ^e	0,87±0,05 ^d	265,49±0,03 ^g
30% BCN	FE	5,19±0,03 ^a	1,93±0,02 ^c	6,78±0,02 ^a	60,91±0,03 ^a	32,3±0,3 ^a	4,97±0,04 ^b	0,57±0,03 ^c	215,5±0,3 ^f
	MO	5,21±0,01 ^a	1,93±0,02 ^c	6,81±0,04 ^a	60,96±0,04 ^a	32,5±0,05 ^{ab}	5,95±0,05 ^e	0,91±0,04 ^d	276,07±0,03 ^h

BT : biscuit témoin. BCN : biscuit enrichi en poudre des glands de chêne naturels. 10%, 20% et 30% pourcentage d'enrichissement de biscuit en poudre des glands de chêne naturels. FE : four électrique. MO : Microonde. Les valeurs ont été exprimées en base sèche. Les différentes lettres au niveau de la même colonne signifient qu'il y a une différence significative entre les valeurs ($\alpha \leq 0,05$).

Les biscuits cuits au microonde ont des teneurs en humidité (5,21-5,59%) supérieure à celles des biscuits cuits au four électrique (5,19-5,57%). La faible teneur en humidité des biscuits cuits au four électrique est due à la température élevée et de temps de cuisson long. L'humidité est un paramètre important dans les produits céréaliers. Elle affecte la durée de conservation des biscuits et la croissance des contaminants microbiens (Teshome et al., 2017).

La teneur en cendres n'est pas affectée par le mode de cuisson (tableaux 34 et 35). Teshome et al. (2017) ont rapporté que les cendres contrairement aux vitamines et les acides aminés, ne peuvent pas être détruits par une exposition prolongée à la chaleur. Cependant, l'augmentation de la teneur en cendres des biscuits est associée à l'incorporation des pourcentages élevés des poudres des glands de chêne.

Etude expérimentale

Les biscuits cuits au four électrique ont des valeurs de pH (6,63-6,88) inférieures à celles des biscuits cuits au microonde (6,65-6,9). Au cours de la cuisson au four électrique, l'augmentation de la température de milieu provoque une hydrolyse partielle de l'amidon, permet de libérer les sucres, ce phénomène permet de donner un pH proche à l'acidité en comparaison aux biscuits cuits au microonde (Ait Ameur, 2006). Les biscuits enrichis en poudre des glands de chêne fermentés et cuits au four électrique ont les valeurs réduites de pH (6,63-6,72). Ceci est dû à l'effet combiné de la cuisson au four électrique et au traitement de fermentation (Ait Ameur, 2006; Rizzello et al., 2010).

Tableau 35 : Effet de cuisson au four électrique (FE) et au microonde (MO) sur les propriétés physicochimiques des biscuits enrichis en poudre des glands de chêne traités par la fermentation (BCF) et la germination (BCG).

Biscuits	Mode de cuisson	Humidité (%)	Cendres (%)	pH	Amidon (%)	Gluten (%)	Protéines (%)	Fibres (%)	Polyphénols (mg EAG/100g)
10% BCF	FE	5,24±0,01 ^a	1,81±0,005 ^{ab}	6,72±0,01 ^{abcd}	59,4±0,2 ^d	33,18±0,015 ^{bc}	5,24±0,03 ^a	0,35±0,02 ^{ab}	110,05±0,07 ^c
	MO	5,27±0,06 ^a	1,81±0,01 ^{ab}	6,75±0,05 ^{abcd}	59,11±0,07 ^d	33,64±0,06 ^e	5,72±0,03 ^{abc}	0,8±0,1 ^{def}	167,78±0,02 ⁱ
20% BCF	FE	5,239±0,001 ^a	1,83±0,02 ^{ab}	6,69±0,01 ^{abcd}	57,8±0,1 ^c	32,89±0,1 ^{ab}	5,45±0,02 ^{ab}	0,3±0,02 ^c	142,86±0,04 ^f
	MO	5,27±0,03 ^a	1,83±0,02 ^{ab}	6,71±0,01 ^{abcd}	58±2 ^c	33,22±0,06 ^{cd}	5,97±0,04 ^{bc}	0,85±0,04 ^{ef}	177,37±0,05 ^j
30% BCF	FE	5,2402±0,0098 ^a	1,97±0,02 ^c	6,63±0,03 ^a	57,24±0,03 ^c	32,3±0,05 ^a	5,47±0,03 ^{abc}	0,27±0,1 ^c	160,23±0,07 ^h
	MO	5,27±0,05 ^a	1,97±0,03 ^c	6,65±0,05 ^{ab}	57,31±0,02 ^c	33,11±0,08 ^{ab}	6±1 ^{bc}	0,88±0,02 ^f	183,97±0,03 ^k
10% BCG	FE	5,5±0,2 ^b	1,78±0,01 ^a	6,79±0,005 ^{cd}	51,9±0,1 ^b	33,29±0,01 ^d	5,45±0,02 ^{ab}	0,3±0,05 ^a	87,25±0,04 ^a
	MO	5,57±0,03 ^b	1,78±0,03 ^a	6,81±0,01 ^d	51,95±0,05 ^b	33,87±0,04 ^f	5,97±0,04 ^{bc}	0,78±0,03 ^{de}	113,29±0,05 ^d
20% BCG	FE	5,5±0,2 ^b	1,83±0,02 ^{ab}	6,75±0,02 ^{abcd}	47,3±0,3 ^a	32,89±0,03 ^{bc}	5,68±0,03 ^{abc}	0,26±0,03 ^{ab}	106,19±0,03 ^b
	MO	5,57±0,04 ^b	1,82±0,03 ^{ab}	6,77±0,02 ^{abcd}	47,38±0,06 ^a	33,25±0,05 ^{cd}	5,99±0,01 ^{bc}	0,82±0,02 ^{def}	159,2±0,1 ^g
30% BCG	FE	5,505±0,005 ^b	1,95±0,02 ^{ab}	6,68±0,02 ^{abc}	46,8±0,1 ^a	32,3±0,05 ^{ab}	5,72±0,04 ^{abc}	0,24±0,03 ^{bc}	121,5±0,2 ^e
	MO	5,57±0,04 ^b	1,95±0,06 ^{ab}	6,7±0,2 ^{abcd}	46,87±0,02 ^a	33,15±0,03 ^{abc}	6,03±0,04 ^c	0,74±0,03 ^d	185,23±0,02 ^l

BCF : biscuit enrichi en poudre des glands de chêne fermentés. BCG : biscuit enrichi en poudre des glands de chêne germés. 10%, 20% et 30% pourcentage d'enrichissement de biscuit en poudre des glands de chêne fermentés et germés. FE : four électrique. MO : Microonde. Les valeurs ont été exprimées en base sèche. Les lettres différentes au niveau de la même colonne signifient qu'il y a une différence significative entre les valeurs ($\alpha \leq 0,05$).

Les teneurs d'amidon, de gluten et des polyphénols dans les biscuits cuits au four électrique sont inférieures à celles des biscuits cuits au microonde (tableaux 34 et 35). Donc, la cuisson au four électrique diminue la qualité nutritive des biscuits. Mogol et Gökmen (2014) ont rapporté que le processus de cuisson conventionnel est caractérisé par certains changements physiques dans la pâte tels que la fonte des graisses, le ramollissement du gluten et la gélatinisation de l'amidon. Aussi, au cours de la cuisson, la teneur en amidon diminue en raison de sa dégradation en

glucidessous l'effet de la température élevée (Teshome et al., 2017). Les biscuits enrichis en poudre de chène germé ont les faibles teneurs en amidon (46,8-51,95%).

La teneur en protéines des biscuits cuits au four électrique (4,97-5,73%) est inférieure à celle des biscuits cuits au microonde (5,61-6,05%). Cela montre que la température élevée de four entraîne une réduction de la teneur en protéines. Pendant la cuisson, les propriétés des protéines sont altérées en raison de la dénaturation des liaisons hydrogène là où les interactions hydrophobes non polaires des structures secondaires et tertiaires des protéines sont perturbées par la chaleur et les acides aminés solubles sont lixiviés dans le milieu de cuisson. Hui et al. (2006) ont mentionné que la réaction de Maillard, est également une réaction responsable de la perte des protéines due à la réaction des acides aminés libres avec des sucres réducteurs (glucose et fructose). Cette réaction chimique est favorisée à des températures de cuisson supérieures à 120 °C (Teshome et al., 2017). Tandis que, la teneur en protéines a été légèrement diminuée dans les biscuits enrichis en poudre des glands de chène traités et cuits au four électrique. Ceci est du aux traitements de la fermentation et de la germination qui améliorent la teneur en protéines (tableau 35) (Adebowale et Maliki, 2011; Okpala et Okoli 2012).

La teneur en fibres est affectée par la cuisson au four électrique (0,23-0,57%) que la cuisson au microonde (0,45-0,91%). Similairement, Teshome et al. (2017) ont trouvé une diminution de la teneur des fibres dans les biscuits cuits au four électrique. Cependant, l'incorporation des pourcentages élevés des poudres des glands de chène améliore la teneur en fibres des biscuits (tableaux 34 et 35).

4.2.2. Quantification de l'hydroxyméthyle furfural (HMF) et de furfural dans les biscuits

Les teneurs de furfural (F) et de l'hydroxyméthyle furfural (HMF) dans les biscuits cuits au four électrique et au microonde sont montrées dans le tableau 36. Le contenu de furfural n'est pas affecté par le mode de cuisson. Tandis que, le mode de cuisson influe légèrement sur les niveaux d'HMF des biscuits. Les biscuits cuits au four électrique contiennent des teneurs d'HMF (13,653-15,58 mg/kg MS.) supérieures à celles des biscuits cuits au microonde (12,98-15,07 mg/kg MS.). Ces résultats sont en accord avec ceux de Petisca et al. (2013). Le temps de cuisson long et la température élevée de four électrique favorisent la formation d'HMF dans les biscuits

Etude expérimentale

(Ait-Ameur et al., 2008). Pendant la cuisson, lorsque la température à la surface du biscuit augmente fortement, le HMF s'accumule rapidement. Bien que le furfural soit formé lors de la réaction de Maillard, il est principalement généré lors de la caramélisation donc des conditions plus drastiques en termes de températures sont nécessaires à sa formation (Ait-Ameur et al., 2008). Au microonde, les biscuits sont soumis à un point central thermique élevé et à une température de surface basse, qui empêche les réactions de Maillard. Cependant, lorsque la cuisson au microonde augmente la perte d'humidité élevée à l'intérieur de biscuit tandis que l'extérieur reste brun, entraînant la génération d'HMF et de furfural (Petisca et al. (2013).

Tableau 36 : Effet de mode cuisson sur la formation de furfural (F) et d'hydroxyméthyle furfural (HMF) dans les biscuits préparés.

Biscuits	Four électrique		Microonde	
	F (mg/Kg MS.)	HMF (mg/Kg MS.)	F (mg/Kg MS.)	HMF (mg/Kg MS.)
BT	17,573±0,003 ^a	13,653±0,003 ^a	17,45±0,05 ^a	12,98±0,02 ^a
10% BCN	18,405±0,003 ^c	14,3±0,1 ^{bc}	18,074±0,002 ^b	13,6±0,3 ^b
20% BCN	18,595±0,001 ^e	14,45±0,05 ^{cd}	18,145±0,003 ^c	13,653±0,003 ^{bc}
30% BCN	18,688±0,001 ^f	14,52±0,03 ^d	18,22±0,02 ^d	13,71±0,03 ^{bc}
10% BCF	19,795±0,005 ^l	15,38±0,02 ^f	19,523±0,003 ^j	14,69±0,02 ^{ef}
20% BCF	19,873±0,003 ^m	15,44±0,02 ^g	19,696±0,002 ^k	14,82±0,02 ^f
30% BCF	20,053±0,002 ⁿ	15,58±0,04 ^h	20,028±0,002 ^l	15,07±0,07 ^g
10% BCG	18,212±0,002 ^b	14,15±0,07 ^b	18,074±0,001 ^b	13,6±0,3 ^b
20% BCG	18,405±0,003 ^c	14,3±0,3 ^{bc}	18,27±0,02 ^e	13,747±0,002 ^{bc}
30% BCG	18,495±0,005 ^d	14,37±0,05 ^{cd}	18,367±0,001 ^f	13,82±0,05 ^c

BT : biscuit témoin. BCN : biscuit enrichi en poudre des glands de chêne naturels. BCF : biscuit enrichi en poudre des glands de chêne fermentés. BCG : biscuit enrichi en poudre des glands de chêne germés. 10%, 20% et 30% pourcentage d'enrichissement de biscuit en poudre des glands de chêne. FE : four électrique. MO : microonde. F : furfural. HMF : hydroxyméthyle furfural. MS : matière sèche. Les valeurs en exposant avec des différentes lettres dans la même colonne sont significativement différentes au seuil de signification de 5% ($\alpha \leq 0,05$).

Les valeurs calculées d'HMF sont en accord avec celles rapportées par Ait Ameur (2006) (HMF est situé entre 0,4 et 65,5 mg.kg⁻¹ dans les produits céréaliers des nourrissons, entre 3,7 et 193,3 mg.kg⁻¹ dans les produits céréaliers de petit déjeuner et entre 2,20 et 87,70 mg.kg⁻¹ dans le pain).

En comparaison au biscuit témoin, les biscuits enrichis ont des valeurs élevées de l'HMF (tableau 36). La variabilité de la concentration de l'HMF dans les biscuits

résulte non seulement de la variation du mode de cuisson, mais aussi de différence dans la formulation de la pâte telle que le type de sucre (Ait Ameer, 2006).

En plus, la différence dans les valeurs de l'hydroxyméthyle furfural (HMF) et de furfural (F) mesurées est due à la différence dans la teneur en eau des biscuits, ce qui influe fortement la formation de l'HMF. D'après, Ait Ameer (2006), la formation et l'accumulation de l'HMF est fortement dépend de l'activité de l'eau, qui doit atteindre des niveaux inférieurs à 0,4 pour avoir permis une formation de l'HMF et de F. Cette formation était présente uniquement à des traces des concentrations d'eau.

4.2.3. Modélisation des cinétiques de changement de la couleur des biscuits au cours de la cuisson

Les figures 27 et 28 représentent le changement des valeurs de la clarté « L^* » des biscuits en fonction de temps de cuisson au four électrique et au microonde, respectivement. Tandis que, les figures 29 et 30 montrent le biscuit témoin et le biscuit enrichi en poudre des glands de chêne, respectivement. Les valeurs de L^* des biscuits ont diminuées avec l'augmentation de temps de la cuisson. Ces résultats sont en accord avec ceux rapportés par Purlis et Salvadori (2009). La couleur des biscuits cuits au four électrique devient plus foncée avec l'augmentation de temps de cuisson. En plus ces biscuits représentent des basses valeurs de L^* en comparaison aux biscuits cuits au microonde. Keskin et al. (2005) ont trouvé des résultats semblables. La réduction des valeurs de la clarté au cours de la cuisson au four électrique a été expliquée par l'exposition de biscuit à une charge élevée de la chaleur (Sakin-Yilmazer et al., 2013).

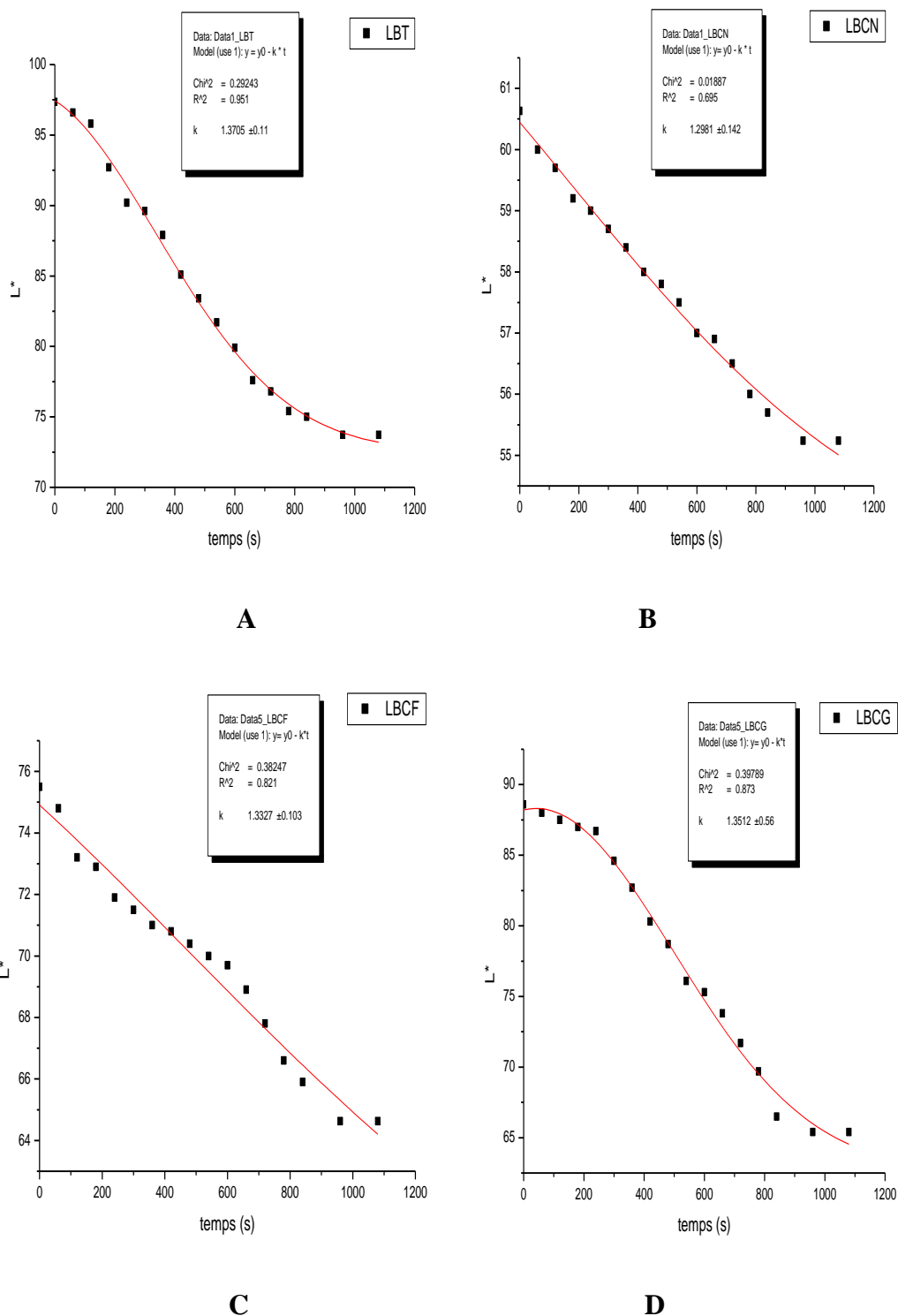
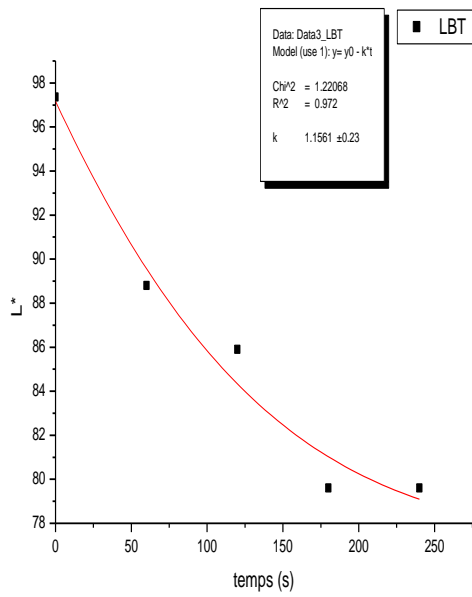
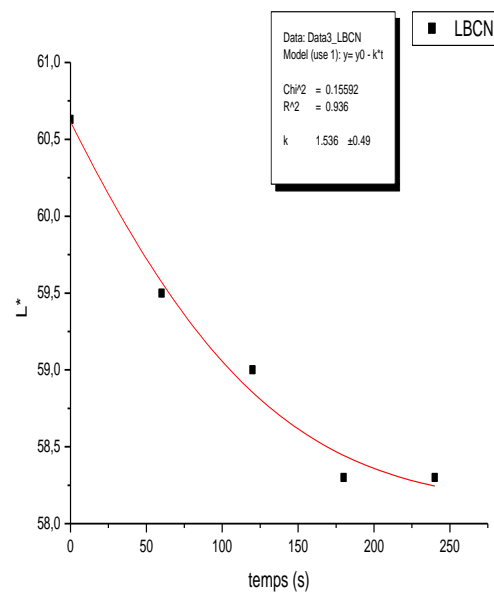


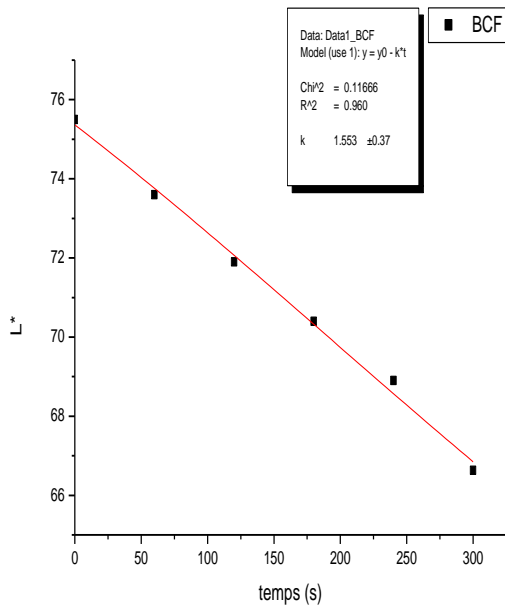
Figure 27 : Modélisation de changement de la clarté (L^*) de biscuit témoin (A) et des biscuits enrichis en poudre des glands de chêne naturels (B), en poudre des glands de chêne fermentés (C) et en poudre des glands de chêne germés (D) cuits au four électrique par le modèle cinétique d'ordre zéro ($L^* = L_0^* - k \times t$).



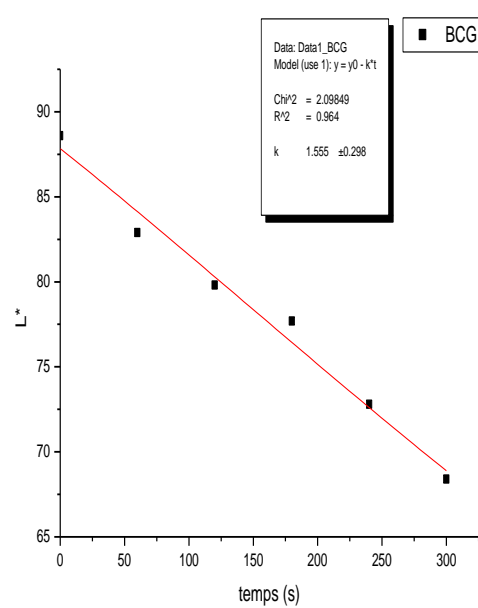
A



B



C



D

Figure 28 : Modélisation de changement de la clarté (L^*) de biscuit témoin (A) et des biscuits enrichis en poudre des glands de chêne naturels (B), en poudre des glands de chêne fermentés (C) et en poudre des glands de chêne germés (D) cuits au microonde par le modèle cinétique d'ordre zéro ($L^* = L^*_0 - k \times t$).

Lara et al. (2011) ont rapporté que lorsqu'un produit céréalier est cuit, des réactions de brunissement entre les glucides et les acides aminés se produisent, ce qui provoque le développement de la couleur et de la saveur (**Purlis, 2010; Kawai et al., 2016**). Malgré que les biscuits cuits au microonde ont des valeurs élevées de la clarté, ce mode de cuisson affecte l'apparence et la forme de ces biscuits. En plus de l'effet de cuisson, l'incorporation de la poudre des glands de chêne au biscuit diminue sa clarté et lui donne une couleur sombre (figures 29 et 30).

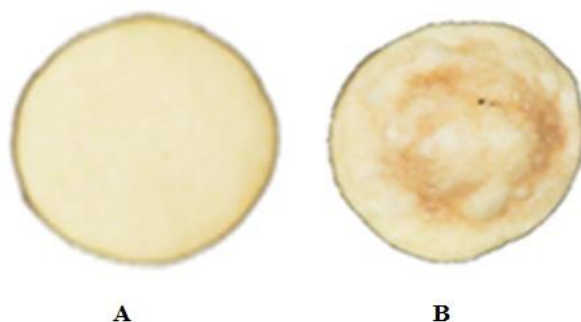


Figure 29 : Biscuit témoin cuit au four électrique (A) et au microonde (B).

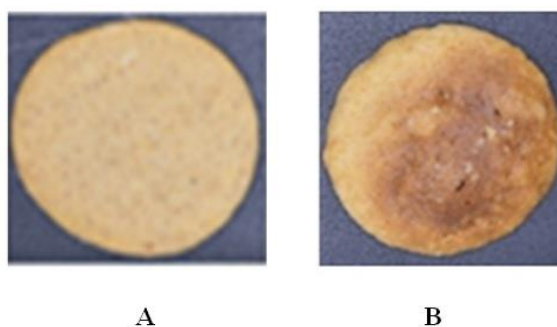


Figure 30 : Biscuit enrichi en 20% de poudre des glands de chêne naturels cuit au four électrique (A) et au microonde (B).

Le tableau 37 représente la modélisation de la variation du clarté (L^*) de biscuit témoin et des biscuits enrichis en poudre des glands de chêne cuits au four électrique et au microonde. Dans le but de prédire et de contrôler le développement du brunissement au cours de la cuisson, il est nécessaire de quantifier l'avancement des réactions de brunissement. L'approche cinétique est largement utilisée pour modéliser le brunissement. La modélisation de cinétique établit qu'un processus peut être décrit mathématiquement à l'aide des paramètres cinétiques dans le but de comprendre, prédire et de contrôler les changements de qualité dans le traitement des aliments. Sur

Etude expérimentale

la base de ce concept, et en choisissant la clarté des biscuits (L^*) comme indice de brunissement, un modèle général et les paramètres cinétiques correspondants pour le développement des couleurs pendant la cuisson peuvent être définis. Afin de décrire le changement de couleur au cours de la cuisson des biscuits, plusieurs modèles cinétiques ont été utilisés. La validation du modèle se trouve au tableau 37. En règle générale, les profils de la clarté modélisés obtenus sont en bon accord avec les résultats expérimentaux. La capacité du modèle cinétique à prédire les valeurs de la clarté finale est indiquée. La constante de vitesse de brunissement « k » de biscuit témoin varie de 0,00025 à 1,3705 min^{-1} et de 0,000345 à 1,561 min^{-1} pour la cuisson au four électrique et au microonde, respectivement. Tandis que, la constante de vitesse de brunissement k de biscuit enrichi en poudre de chêne naturel varie de 0,00015 à 1,2981 min^{-1} pour la cuisson au four électrique et de 0,000288 à 1,536 min^{-1} pour la cuisson microonde. Aussi, la constante de vitesse k de biscuit enrichi en poudre de chêne fermenté varie de 0,00021 à 1,3327 min^{-1} pour la cuisson au four électrique et de 0,000300 à 1,553 min^{-1} pour la cuisson microonde. En plus, la constante de vitesse k de biscuit enrichi en poudre de chêne germé varie de 0,00023 à 1,3512 min^{-1} pour le four électrique et de 0,000315 à 1,555 min^{-1} pour le microonde. **Lukina et al. (2017)** ont trouvé que la vitesse de brunissement des biscuits à base de blé varie de 1,2045 à 1,4072 min^{-1} . L'évolution de la clarté de la surface des biscuits a suivi une réaction d'ordre zéro. La prédiction de la clarté pendant la cuisson était mieux décrite par le modèle cinétique d'ordre zéro pour les biscuits cuits par les deux modes (les valeurs les plus petites de RMSE et les plus hautes de R^2). Ces résultats sont en accord avec ceux rapportés par **Van Boekel (2006)** et **Lukinac et al. (2017)**.

Tableau 37 : Modélisation de la variation de la clarté (L^*) des biscuits cuits au four électrique (FE) et au microonde (MO).

Biscuit	Mode	Constants								
		Ordre de zéro			Premier ordre			Deuxième ordre		
		K (min^{-1})	R^2	RMSE	K (min^{-1})	R^2	RMSE	K (min^{-1})	R^2	RMSE
BT	FE	1,3705	0,951	3,2514	0,0142	0,882	3,5219	0,00025	0,750	3,5950
	MO	1,561	0,972	3,7711	0,0210	0,913	3,8214	0,000345	0,872	3,9215
20% BCN	FE	1,2981	0,695	3,1985	0,0115	0,827	3,4879	0,00015	0,483	3,5873
	MO	1,536	0,936	3,7711	0,0179	0,874	3,7984	0,000288	0,843	3,8973
20% BCF	FE	1,3327	0,821	3,2310	0,0130	0,860	3,5079	0,00021	0,685	3,7155
	MO	1,553	0,960	3,7675	0,0196	0,895	3,8164	0,000300	0,861	3,9150
20% BCG	FE	1,3512	0,873	3,2394	0,0137	0,873	3,5109	0,00023	0,725	3,7196
	MO	1,555	0,964	3,7545	0,0203	0,909	3,8195	0,000315	0,866	3,9175

BT : biscuit témoin. 20% BCN : biscuit enrichi en 20% de la poudre des glands de chêne naturels. 20% BCF : biscuit enrichi en 20% de la poudre des glands de chêne fermentés. 20% BCG : biscuit enrichi en 20% de la poudre des glands de chêne germés. FE : four électrique. MO : microonde.

Partie 02

Partie 2 : Formulation et traitements technologiques des biscuits enrichis en poudre des graines de chardon marie

Les graines de chardon marie peuvent être utilisées comme nourriture. Elles augmentent l'appétit et facilite la digestion. Des nombreuses études ont montré que les graines de chardon marie sont riches en protéines, en lipides, en glucides totaux et en minéraux (Abu Jadayil et al. 1999; Abd Raboh, 2012). En plus, la présence des grandes quantités de calcium et de magnésium est une caractéristique particulière des graines de chardon marie (Aliyas, 2015). L'importance des graines de chardon marie dans la nutrition humaine augmente également, car un nombre croissant de consommateurs recherchent des produits ayant des propriétés favorables à la santé (Andrzejewska et al., 2015).

Les produits de boulangerie fournissent une bonne matrice d'enrichissement. Tandis que, les informations autour l'incorporation de la poudre des graines de chardon marie dans les produits céréaliers sont rares (Brodowska et al., 2014; Aliyas, 2015).

Les biscuits sont un moyen idéal pour transporter de nombreux ingrédients bénéfiques sur le plan nutritionnel (Siro et al., 2008; Ansari et Kumar, 2012). La qualité des biscuits est influencée par plusieurs facteurs tels que la nature des ingrédients utilisés et les traitements effectués au cours de procédé de préparation (Sudha et al., 2007; Devi et Khatkar, 2016). Jusqu'à présent, la littérature ne fait mention que des quelques travaux visant l'effet de quelques traitements technologiques sur la qualité de biscuit.

L'objectif de ce travail était de caractériser le mélange de la farine de blé et de la poudre des graines de chardon marie grâce à l'évaluation des propriétés physicochimiques et sensorielles des biscuits préparés par ce mélange. En plus, de déterminer l'effet de quelques paramètres de procédé de préparation sur la qualité finale des biscuits.

1. Propriétés morphologiques des graines de chardon marie (*Silybum marianum* L.)

Le tableau 38 représente les propriétés morphologiques des graines de chardon marie (*Silybum marianum*). Il existe une différence significative entre les propriétés des graines de chardon marie.

Tableau 38: Propriétés morphologiques des graines de chardon marie.

Paramètres	Graines de chardon marie (<i>Silybum marianum</i>)
Longueur (mm)	6,32±0,1 ^c
Largeur (mm)	3,3±0,09 ^b
Nombre des graines dans 100 g	103±1 ^f
Masse (g)	0,97±0,23 ^a
Taux d'écorce (%)	8,53±0,04 ^d
Taux de graine pelée (%)	91,47±0,03 ^e

Les valeurs en exposant avec des différentes lettres sont significativement différentes au seuil de 5% ($\alpha \leq 0,05$).

La longueur et la largeur des graines de chardon marie est 6,32 mm et 3,3 mm, respectivement. Ces résultats sont proches à ceux mentionnés par **Qavami et al. (2013)** (longueur : 6-8 mm et largeur : 3 mm). **Nergiz et Domnez (2004)** ont trouvé que les graines de pin (*Pinus pinea* L.) ont 18,34 mm de longueur, 8,83 mm de largeur avec un nombre de 146 graines dans 100 g. La masse et le taux des graines de chardon marie est 0,97 g et 91,47, respectivement. **Qavami et al. (2013)** ont rapporté qu'il ya une relation entre la forme et la masse des graines de chardon marie et les graines les plus grandes ont une masse et un contenu plus élevés. D'après **Kadri et al. (2015)**, les caractéristiques morphologiques de la matière végétale sont importantes et très intéressantes dans l'industrie agroalimentaire, par exemple plus le poids de la matière végétale est grand, plus sa composition chimique est élevée.

2. Caractérisation de la poudre des graines de chardon marie

2.1. Propriétés physicochimiques de la poudre de chardon marie

Le tableau 39 représente une comparaison entre les propriétés physicochimiques de la farine de blé et de la poudre des graines de chardon marie. Il existe une

Etude expérimentale

différence significative entre les propriétés de la farine de blé et de la poudre de chardon marie.

La teneur en humidité de la poudre de chardon marie (7,53%) est inférieure à celle de la farine de blé (9,48%). **Abu Jadayil et al. (1999)** ont constaté que les graines de chardon marie contiennent 5,8% d'humidité. **Awad-Allah (2013)** a rapporté que la poudre des graines de pin contient 7,9% d'humidité. **Kadri et al. (2015)** ont trouvé que la poudre des graines de pin (*Pinus halepensis* Mill.) contient 7,86% d'humidité.

La farine de blé avait une faible teneur des cendres (0,99%) en comparaison à la poudre de chardon marie (3,1%). **Abu Jadayil et al. (1999)** ont trouvé que les graines de chardon marie contiennent 4,8% des cendres. **Kadri et al. (2015)** ont rapporté que la poudre des gaines de pin contient 7,42% de cendres.

Tableau 39 : Propriétés physicochimiques de la farine de blé et de la poudre de chardon marie.

Propriétés	Farine de blé	Poudre de chardon marie
Humidité (%)	9,48±0,0057 ^a	7,53±0,0058 ^b
Matière sèche (%)	90,52±0,0057 ^a	92,47±0,0058 ^b
Cendres (%)	0,99±0,011 ^a	3,1±0,057 ^b
Matière organique (%)	99,01±0,011 ^a	96,9±0,057 ^b
pH	4,68±0,02 ^a	4,39±0,02 ^b
Amidon (%)	75,76±0,0057 ^a	51,4±0,1 ^b
Protéines (%)	11,47±0,03 ^a	15,82±0,05 ^b
Fibres (%)	3,01±0,04 ^a	14,05±0,07 ^b
Polyphénols (mg EAG/100g)	25,7±0,34 ^a	603±5 ^b

Les valeurs ont été exprimées en base sèche. Les différentes lettres au niveau de la même ligne signifient qu'il ya une différence significative entre les valeurs ($\alpha \leq 0,05$).

La farine de blé présente une teneur en amidon (75,76%) supérieure à celle de la poudre de chardon marie (51,4%). **Ragae et al. (2006)** ont mentionné que la farine de blé contient 77,9% d'amidon. **Abu Jadayil et al. (1999)** ont trouvé une faible teneur en

amidon dans la poudre des graines de chardon marie (24,3%) et la poudre de sésame (10%).

La poudre des graines de chardon marie avait des teneurs élevées en protéines (15,82%), en fibres (14,05%) et en polyphénols (603 mg EAG/100g) en comparaison à la farine de blé (tableau 39). **Cheikh-Rouhou et al. (2006)** et **Kadri et al. (2015)** ont trouvé que la poudre de pin (*Pinus halepensis*) contient 22,7% et 26,62% des protéines, respectivement. **Chauhan et al. (2016)** ont rapporté que la poudre d'amarante contient 15,05% des protéines et 3% des fibres. **Kadri et al. (2015)** ont mentionné que la poudre des graines de pin contient 3,71 mg/g de composés phénoliques. La différence dans la composition des poudres de différentes graines est due aux variabilités génétiques et phénotypiques des espèces. L'environnement aussi a un effet dominant (**Kadri et al., 2015**).

2.2. Couleur de la poudre de chardon marie

Le tableau 40 représente les indices de couleur de la farine de blé et de la poudre des graines de chardon marie. Il existe une différence significative entre les indices de la couleur des poudres.

La poudre des graines de chardon marie avait une couleur foncée puisque elle a des valeurs réduites de la clarté (62,7) et de l'indice de blanchiment (56,72) en comparaison à la farine de blé (tableau 40). Les poudres de chêne étaient moins blanches que la farine de blé. Les composés phénoliques présents dans les graines de chardon marie contribuent à la baisse des valeurs de la clarté de sa poudre.

Tableau 40 : Indices de la couleur de la farine de blé et de la poudre de chardon marie.

Poudre	L*	c*	h°	ΔE	IB	IBL
Farine de blé	91,19±0,03 ^a	21,18±0,07 ^a	81,36±0,08 ^a	99,6±0,058 ^a	527,09±0,13 ^a	64,68±0,09 ^a
Poudre de chardon marie	62,7±0,22 ^b	29,92±0,07 ^b	73,15±0,07 ^b	37,8±0,2 ^b	556,11±0,11 ^b	56,72±0,08 ^b

FB : farine de blé. PCM : poudre des graines de chardon marie. L* : indique la clarté. c* : chromaticité. h° : angle de teinte. ΔE : différence totale de la couleur. IB : indice de brunissement. IBL : indice de blanchiment. Les valeurs en exposant avec des différentes lettres dans la même colonne sont significativement différentes au seuil de signification de 5% ($\alpha < 0,05$).

Etude expérimentale

La différence de la couleur totale de la poudre de chardon marie est 37,8. **Eke-Ejiofor et al. (2014)** ont trouvé que la différence de la couleur totale (ΔE) de la poudre des graines de fruit est égale 74,79%.

2.3. Propriétés fonctionnelles de la poudre de chardon marie

La figure 31 représente les propriétés fonctionnelles de la farine de blé et de la poudre des graines de chardon marie.

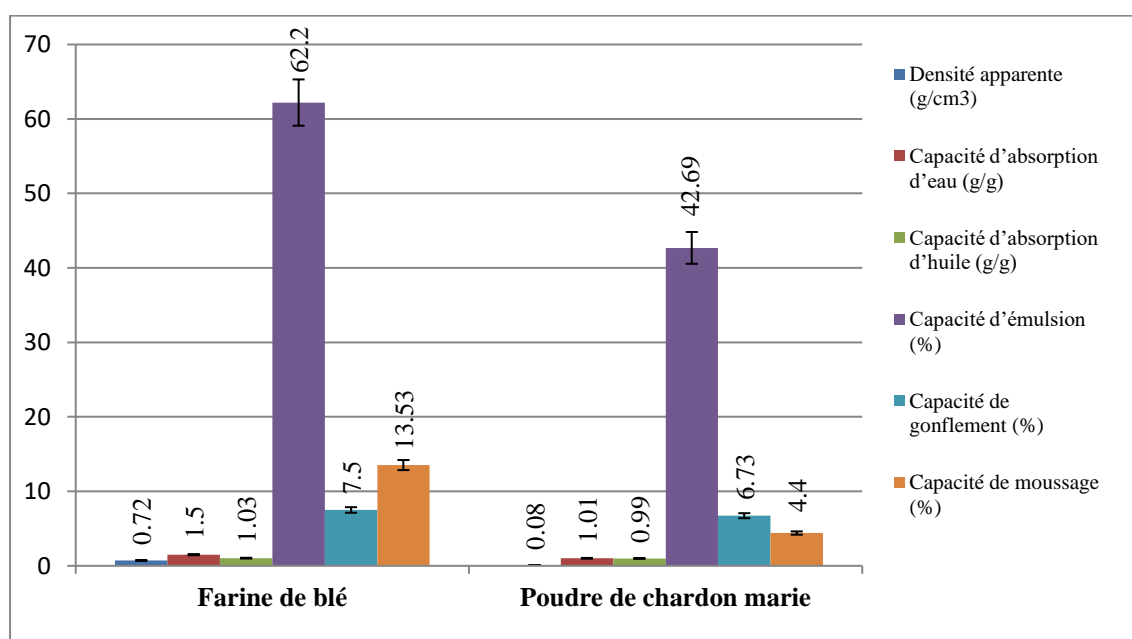


Figure 31 : Propriétés fonctionnelles de la farine de blé et de la poudre des graines de chardon marie.

La poudre des graines de chardon marie a une faible densité apparente (0,08 g/cm³) en comparaison à la farine de blé (0,72 g/cm³). Ceci est due à sa faible teneur en amidon (**Ocheme et al., 2015**).

La capacité d'absorption d'eau de la poudre de chardon marie (1,01 g/g) est inférieure à celle de la farine de blé (1,5 g/g). **Apostol et al. (2017)** ont mentionné qu'à mesure que la quantité de la poudre des graines de chardon marie est ajoutée à la farine de blé, la capacité d'absorption d'eau de mélange diminue. La capacité de rétention d'eau dépend de la structure des macromolécules de nature protéique et polysaccharideique (**Zidani, 2019**).

La farine de blé avait une capacité d'absorption d'huile élevée (1,03 g/g) en comparaison à celle de la poudre de chardon marie (0,99 g/g). **Awad-Allah (2013)** a rapporté que la capacité d'absorption d'huile des poudres de noix et des graines de pin est égale 1,3 et 1,2 ml/g, respectivement. La capacité d'absorption d'huile est liée à la nature et à la teneur en protéines, en fibres et en amidon (**Ma et al., 2011**; **Vioque et al., 2012**).

La poudre de chardon marie avait une capacité d'émulsion faible (42,69%) en comparaison à la farine de blé (62,2%). **Awad-Allah (2013)** a mentionné que la capacité d'émulsion de la poudre de pin est égale à 63,6 ml/g.

La capacité de gonflement de la farine de blé (7,5%) est supérieure à celle de la poudre de chardon marie (6,73%). Les principales compositions chimiques qui améliorent le gonflement des farines sont les protéines et les glucides car les deux composants contiennent des parties hydrophiles (**Correia et Beirao-da-Costa, 2011**). Une farine à forte capacité de gonflement pourrait être utile dans les systèmes alimentaires où le gonflement est nécessaire (**Oppong et al., 2015**).

La capacité en moussage de la poudre des graines de chardon marie (4,4%) est très réduite en comparaison à la farine de blé (13,53%). La valeur élevée des capacités de moussage pourrait être due à la teneur élevée en amidon et en protéines (**Awad-Allah, 2013**). La capacité de moussage est importante pour la farine utilisée dans nombreux produits alimentaires à lever, tels que les produits de boulangerie, les gâteaux et les biscuits (**Elkhalifa et Bernhardt, 2010**).

3. Caractérisation des biscuits enrichis en poudre de chardon marie

3.1. Propriétés physicochimiques des biscuits

Les propriétés physicochimiques des biscuits préparés sont montrées dans le tableau 41.

Les biscuits enrichis en poudre des graines de chardon marie avaient une teneur en humidité (4,3-4,43%) inférieure à celle de biscuit de témoin (5,57%). Cela est dû à la faible teneur en humidité de la poudre des graines de chardon marie par rapport à la farine de blé (**Serrem, 2010**). L'augmentation de la teneur en eau de la farine pourrait être due à sa faible teneur en matière sèche (**Chinma et al., 2009**).

Tableau 41 : Propriétés physicochimiques de biscuit témoin et des biscuits enrichis en poudre de chardon marie.

Propriétés	Biscuit témoin	Biscuits enrichis en poudre de chardon marie		
		10% BCM	20% BCM	30% BCM
Humidité (%)	5,57±0,011 ^b	4,43±0,115 ^a	4,39±0,03 ^a	4,3±0,3 ^a
Matière sèche (%)	94,43±0,011 ^a	95,57±0,115 ^b	95,61±0,03 ^b	95,7±0,3 ^b
Cendres (%)	1,61±0,01 ^a	2,33±0,20 ^b	2,95±0,03 ^c	3,89±0,03 ^d
Matière organique (%)	98,39±0,01 ^d	97,67±0,20 ^c	97,05±0,03 ^b	96,11±0,03 ^a
pH	6,85±0,011 ^d	6,38±0,02 ^c	6,24±0,03 ^b	6,18±0,04 ^a
Amidon (%)	68,08±0,015 ^d	60,69±0,01 ^c	59,76±0,04 ^b	57,97±0,03 ^a
Gluten (%)	37,13±0,015 ^d	33,09±0,152 ^c	32,89±0,06 ^b	32,3±0,05 ^a
Protéines (%)	5,73±0,02 ^a	5,73±0,04 ^a	6,07±0,07 ^b	6,18±0,01 ^c
Fibres (%)	0,23±0,02 ^a	0,88±0,03 ^b	1,06±0,04 ^c	1,15±0,02 ^d
Polyphénols (mg EAG/100g)	44,82±0,03 ^a	133,2±0,2 ^b	168,11±0,05 ^c	181,3±0,1 ^d

BT : biscuit témoin. BCM : biscuit enrichi en poudre de chardon marie. 10%, 20% et 30% : pourcentage de remplacement de la farine de blé par la poudre des graines de chardon marie. Les valeurs ont été exprimées en base sèche. Les différentes lettres au niveau de la même ligne signifient qu'il y a une différence significative entre les valeurs ($\alpha \leq 0,05$).

La teneur en cendres de biscuit a été augmentée significativement par l'incorporation des graines de chardon marie (2,33-3,89%). Ce résultat montre que l'addition de la poudre de chardon marie aux produits céréaliers améliore ses valeurs nutritionnelles. La différence en teneur des cendres entre le biscuit témoin et les biscuits enrichis est certainement due à la qualité de la farine. **Serrem (2010)** a constaté une augmentation de la teneur en cendres de biscuit enrichi en poudre de soja.

Le pH a diminué significativement dans les biscuits enrichis en poudre des graines de chardon marie (tableau 41). Cette diminution pourrait se révéler être la conséquence de l'enrichissement de biscuit en poudre de chardon marie ce qui mène à un changement dans la composition.

Les biscuits enrichis en poudre de chardon marie avaient des faibles teneurs en amidon (57,97-60,69%) et en gluten (32,3-33,09%) en comparaison au biscuit témoin (tableau 41). Cette diminution pourrait s'expliquer par la faible teneur en amidon et en gluten dans la poudre de chardon marie (**Hallén et al., 2004; Serrem, 2010**).

Le biscuit enrichi par la poudre des graines de chardon marie présentait des hautes teneurs de protéines (5,73-6,18%), de fibres (0,88-1,15%) et de polyphénols (133,2-181,3 mg EAG/100g) par rapport au biscuit témoin (tableau 41). Cet effet est

un résultat évident de la substitution de la farine de blé par la poudre de chardon marie riche en protéines, en fibre et en polyphénols (tableau 41).

3.2. Dimensions physiques des biscuits enrichis

Les résultats des différentes dimensions physiques des biscuits préparés sont représentés dans le tableau 42.

Tableau 42 : Propriétés physiques de biscuit témoin et des biscuits enrichis en poudre de chardon marie.

Propriétés	Biscuit témoin	Biscuits enrichis en poudre de chardon marie		
		10% BCM	20% BCM	30% BCM
Masse (g)	9,77±0,005 ^c	6,63±0,152 ^b	6,52±0,05 ^a	6,47±0,02 ^a
Perte de poids (%)	20,79±0,01 ^c	14,11±0,32 ^b	13,87±0,10 ^a	13,76±0,04 ^a
Diamètre (mm)	42,1±0,005 ^a	47,86±0,152 ^b	47,88±0,04 ^b	47,9±0,2 ^b
Epaisseur (mm)	5,3±0,005 ^a	7,5±0,2 ^b	7,7±0,3 ^b	7,9±0,4 ^b
Volume (cm ³)	7,37±0,009 ^a	13,48±0,342 ^b	13,85±0,51 ^b	14,22±0,83 ^b
Ratio de propagation	7,94±0,007 ^b	6,38±0,178 ^a	6,21±0,24 ^a	6,06±0,28 ^a
Densité (g/cm ³)	1,32±0,0012 ^b	0,49±0,02 ^a	0,47±0,02 ^a	0,45±0,02 ^a

BT : biscuit témoin. BCM : biscuits enrichis en poudre des graines de chardon marie. 10%, 20% et 30% : pourcentage de remplacement de la farine de blé par la poudre de chardon marie. Les valeurs en exposant avec des différentes lettres dans la même ligne sont significativement différentes au seuil de signification de 5% ($\alpha \leq 0,05$).

Les valeurs de masse (9,77 g) et de perte de poids (20,79%) de biscuit témoin sont supérieures à celles des biscuits enrichis en chardon marie (masse : 6,47-6,63 g et perte de masse : 13,76-14,11%). **Serrem (2010)** a constaté une réduction du poids des biscuits enrichis en poudre de soja. Similairement, **Chauhan et al. (2016)** ont trouvé une réduction dans la perte de masse des biscuits enrichis en poudre d'amarante.

Le biscuit témoin présentait le rapport de propagation le plus élevé (7,94) en comparaison aux biscuits enrichis (6,06-6,38). Tandis, que l'épaisseur et le diamètre des biscuits ont été augmentés par l'accroissement de taux de la poudre de chardon marie incorporée (tableau 42). Ceci est du à la richesse de la poudre de chardon marie en protéines et en fibres. **Ganorkar et Jain (2014)** ont rapporté une diminution de l'épaisseur des biscuits enrichis en poudre des graines de lin.

La densité de biscuit témoin est 1,32 g/cm³. Cette densité a été affectée par l'addition de la poudre de chardon marie au biscuit (0,45- 0,49 g/cm³). **Brodowska et al. (2014)** ont signalé que l'addition des doses de 0,16 g/100g, 0,33 g/100g et 0,56 g/100g de poudre de chardon marie n'influe pas sur les propriétés physiques de

Etude expérimentale

biscuit à base de blé. En outre, les niveaux de la poudre de chardon marie ajoutés ont été sélectionnés pour ne pas dépasser 10%.

3.3. Couleur des biscuits enrichis

Le tableau 43 représente les indices de la couleur de biscuit témoin et des biscuits enrichis en poudre de chardon marie. Tandis que, la figure 32 montre ces biscuits.

Tableau 43 : Indices de la couleur de biscuit témoin et des biscuits enrichis en poudre de chardon marie.

Biscuits	L*	c*	h°	ΔE	IB	IBL
BT	74,03±0,04 ^d	8,93±0,02 ^a	0,58±0,02 ^a	25,2±0,02 ^a	199,27±0,03 ^a	72,24±0,02 ^b
10% BCM	64,43±0,01 ^c	30,09±0,03 ^c	84,76±0,01 ^b	71,11±0,02 ^b	254,66±0,02 ^d	53,4±0,02 ^a
20% BCM	56,82±0,03 ^b	31,16±0,02 ^b	84,91±0,03 ^c	71,05±0,05 ^c	256,39±0,02 ^c	52,33±0,03 ^a
30% BCM	55,5±0,1 ^a	31,45±0,01 ^b	85,05±0,05 ^d	70,96±0,03 ^d	257,82±0,02 ^b	51,85±0,05 ^a

BT : biscuit témoin. BCM : biscuit enrichi en poudre de chardon marie. 10%, 20% et 30% : pourcentage de remplacement de la farine de blé par la poudre de chardon marie. L* : clarté. c* : chromaticité (saturation). h° : angle de teinte, ΔE : différence totale de la couleur. IB : indice de brunissement. IBL : indice de blanchiment. Les valeurs en exposant avec des différentes lettres dans la même colonne sont significativement différentes au seuil de signification de 5% ($\alpha \leq 0,05$).

La surface de biscuit est devenue brune par l'addition de la poudre de chardon marie (tableau 43, figure 32). Les valeurs de la clarté « L* » ont été diminuées significativement par l'incorporation de la poudre de chardon marie au biscuit (55,5-64,43). Tandis que, les valeurs de c* et h° ont été augmentées par l'enrichissement. Ces résultats sont similaires à ceux trouvés par **Chauhan et al. (2016)** pour le biscuit enrichi en poudre d'amarante. La différence dans les indices de la couleur de biscuit témoin et des biscuits enrichis est due à la différence dans la couleur de la farine de blé et de la poudre de chardon marie. **Saadoudi (2019)** a rapporté qu'il existe une corrélation négative entre la teneur en protéines et la clarté (L*) de biscuit, ce qui indique que la réaction de Maillard a joué un rôle majeur dans la diminution des valeurs de L* par l'addition de la poudre de chardon marie.

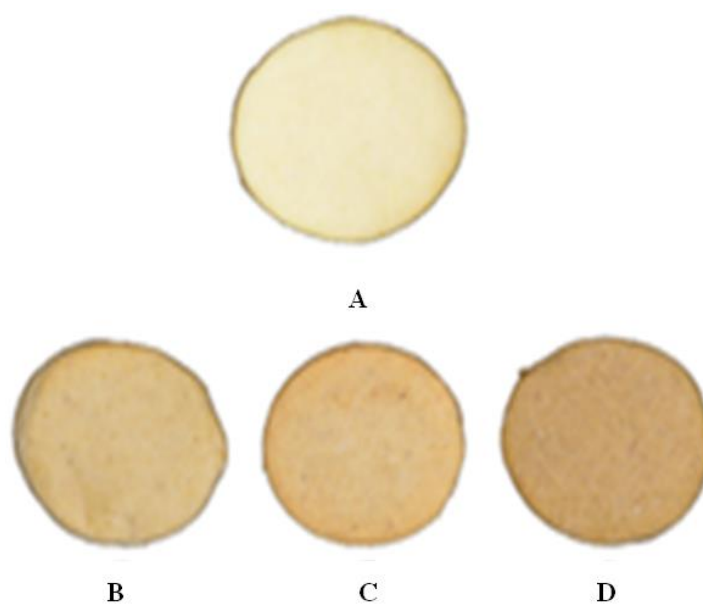


Figure 32 : Biscuit témoin (A) et biscuits enrichis en 10, 20 et 30% de poudre de chardon marie (B, C et D).

Les biscuits enrichis en poudre de chardon marie présentaient un indice de brunissement plus élevé (254,66-257,82) que le biscuit témoin (199,27). La dégradation thermique des polyphénols complexes initialement incolores de la poudre de chardon marie en phénols colorés pendant la cuisson augmente l'indice de brunissement des biscuits enrichis. L'indice de blanchiment a été diminué dans les biscuits enrichis contenant de la poudre des graines de chardon marie (51,85-53,4). De même, **Zucco et al. (2011)** ont observé une réduction des valeurs de l'indice de blanchiment des biscuits enrichis en poudre des légumineuses.

3.4. Propriétés sensorielles des biscuits

3.4.1. Teste de classement

Les dégustateurs ont classé les 4 types des biscuits (témoin et enrichis en poudre de chardon marie) selon la fiche de classement de l'annexe 2. Le tableau 44 représente les cotes de classement données à chaque biscuit par les 10 dégustateurs.

Tableau 44 : Données du test de classement par rang d'acceptation de biscuit témoin et des biscuits enrichis en poudre de chardon marie.

Dégustateurs	Biscuits			
	BT	20% BCM	10% BCM	30% BCM
1	1	3	4	4
2	3	2	4	3
3	1	2	4	4
4	1	3	2	4
5	2	1	4	3
6	4	2	1	1
7	1	2	3	4
8	1	2	4	2
9	2	3	1	3
10	1	4	2	4
Total de cotes	17	24	29	32

BT : biscuit témoin. BCM : biscuit enrichi en poudre de chardon marie. 10%, 20% et 30% : pourcentages d'enrichissement de biscuit en poudre de chardon marie.

La valeur critique calculée pour $\alpha=0,05$ (avec le test de Friedman), pour les 10 dégustateurs et les 4 biscuits est 9,93. La différence entre les paires de totaux était la suivante :

Tableau 45 : La différence entre les paires des biscuits préparés.

	30% BCM	10% BCM	20% BCM	BT
30% BCM		5	11*	15*
10% BCM			6	12*
20% BCM				7
BT				

BT : biscuit témoin. 10% BCM, 20% BCM et 30% BCM : biscuit enrichi en 10%, 20% et 30% de poudre de chardon marie, respectivement. Les valeurs en exposant avec étoile sont significativement différentes au seuil de signification de 5% ($\alpha \leq 0,05$) analysées par le test de Friedman.

Le panel de dégustation a classé le biscuit témoin (BT) en premier lieu puisqu'il est le plus acceptable (17), suivi de biscuit enrichi en 20% de poudre de chardon marie (24), puis le biscuit enrichi en 10% de poudre des graines de chardon marie (29) et enfin le biscuit enrichi en 30% de poudre de chardon marie (32). Le classement des 4 biscuits est: BT, 20% BCM, 10% BCM et 30% BCM.

3.4.2. Teste hédonique

L'effet de l'incorporation de la poudre des graines de chardon marie sur les propriétés sensorielles de biscuit a été évalué et présenté dans le tableau 46. Tandis

Etude expérimentale

que, la figure 33 montre les profils sensoriels de biscuit témoin et des biscuits enrichis en chardon marie.

Tableau 46 : Propriétés sensorielles de biscuit témoin et des biscuits enrichis en poudre de chardon marie.

Biscuits	Odeur	Apparence	Gout	Couleur	Texture	Acceptabilité globale
BT	8,2±0,2 ^b	7,8±0,2 ^b	8,7±0,2 ^b	8,1±0,2 ^b	5,93±0,05 ^c	8,46±0,01 ^b
10% BCM	7,7±0,1 ^a	5,35±0,06 ^a	7,17±0,04 ^a	4,48±0,02 ^a	5,48±0,04 ^b	7,24±0,06 ^a
20% BCM	7,82±0,02 ^a	5,4±0,2 ^a	7,25±0,06 ^a	4,55±0,05 ^a	5,5±0,1 ^{ab}	7,3±0,1 ^a
30% BCM	7,65±0,05 ^a	5,33±0,05 ^a	7,1±0,1 ^a	4,35±0,05 ^a	5,45±0,05 ^a	7,2±0,08 ^a

BT : biscuit témoin. BCM : biscuit enrichi en poudre de chardon marie. 10%, 20% et 30% : pourcentages d'enrichissement de biscuit en poudre de chardon marie. Les valeurs en exposant avec des différentes lettres dans la même colonne sont significativement différentes au seuil de signification de 5% ($\alpha \leq 0,05$).

Le biscuit témoin possède les scores les plus élevés pour tous les paramètres sensoriels testés. Les scores de biscuit contenant 20% de la poudre de chardon marie étaient proches à ceux de biscuit témoin, suivi de biscuit contenant 10% de poudre de chardon marie. Tandis que, le biscuit enrichi en 30% de poudre de chardon marie (30% BCM) est le moins agréable (tableau 46 et figure 33). L'analyse sensorielle a révélé que le meilleur profil sensoriel a été observé dans le cas de biscuit enrichi en 20% de poudre de chardon marie (figure 33).

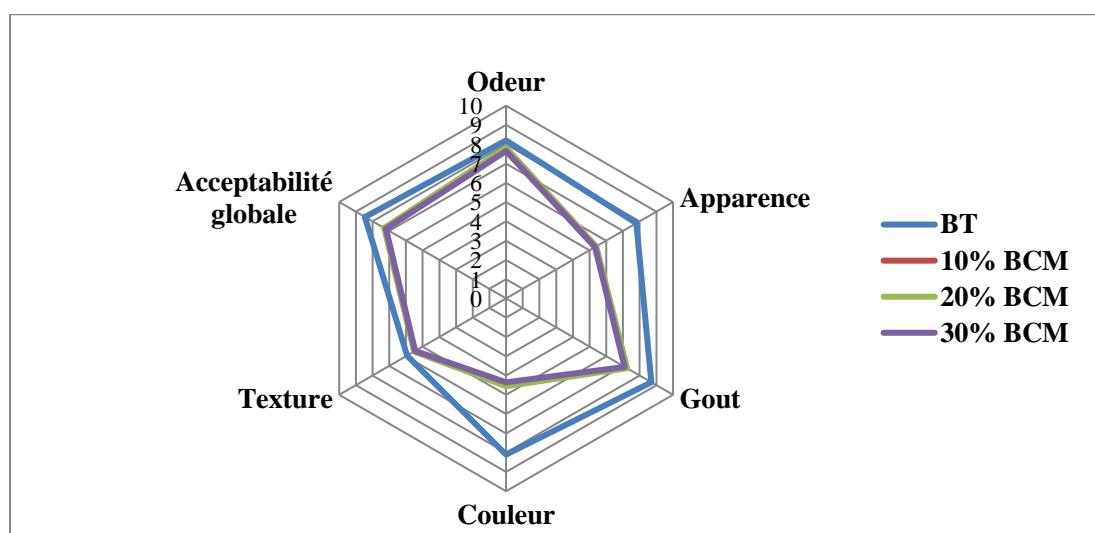


Figure 33 : Profils sensoriels de biscuit témoin et des biscuits enrichis en poudre de chardon marie.

BT : biscuit témoin. BCM : biscuit enrichi en poudre de chardon marie. 10%, 20% et 30% : pourcentages d'enrichissement de biscuit en poudre de chardon marie.

Les résultats ont montré que l'addition de la poudre des graines de chardon marie au biscuit entraîne une diminution de ses scores sensoriels de couleur (4,35-4,55), d'apparence (5,33-5,4) et de goût (7,1-7,25). Dans le même temps, l'odeur (7,65-7,82) et la texture (5,45-5,5) des biscuits enrichis en poudre de graines de chardon marie ne sont pas plus affectées (tableau 46). Similairement, **Shahat et al. (2016)** ont trouvé des résultats semblables pour le pain enrichi en différents pourcentages du poudre de chardon marie. La plupart des panélistes ont signalé que les biscuits enrichis ont une couleur marron. La saturation de la couleur a été augmentée à mesure que le taux de la substitution du farine de blé par la poudre de chardon marie augmentait. En outre, ils ont mentionné que le biscuit enrichi donne un sens à la présence des restes de tissu mince dans la langue. Cela peut être lié à la présence de certains téguments des graines du chardon marie contenant une forte proportion des fibres (lignines). Ces résultats sont en accord avec ceux rapportés par **Abd Raboh (2012)**. **Brodowska et al. (2014)** ont signalé que les doses ajoutées de 0,16 g, 0,336 g et 0,56 g/100 g de poudre des graines de chardon marie n'avaient pas d'influence sur les propriétés sensorielles de la pâte de blé

3.5. Analyse en factorielle composantes principales (ACP) des propriétés physicochimiques et sensorielles des biscuits

Les relations entre les propriétés physicochimiques et sensorielles de biscuit témoin et des biscuits enrichis en différents pourcentages de la poudre de chardon marie et ses scores ont été obtenus par l'analyse factorielle en composantes principales (voir annexe 3) (**Popovic et al., 2013**). La figure 34 montre des tracés de chargements (figure 34A) et des scores (figure 34B) obtenus à partir de PC, les deux premières composantes principales (PC1 et PC2) représentant 96,51% de la variance totale des données. En particulier, PC1 expliquait 93,85% de la variation des données, tandis que PC2 expliquait 2,66% (**Aponte et al., 2014**).

Pour la figure 34A, dans le cercle unitaire, les paramètres (la clarté (L^*), gluten (G), indice de blanchiment (IBL), acceptabilité globale (Acc gl), diamètre (D), ratio de propagation (RP), humidité (H), amidon (A), matière organique (MO), apparence (App), texture (Txt), indice de brunissement (IB), chromaticité (c^*), angle de teinte (h°), la différence de la couleur totale (ΔE), polyphénols (Pol), protéines (P), fibres (F), matière sèche (MS), cendres (c), pH, masse (m), perte de poids (PP), épaisseur (E), volume (V), densité (d), gout (Go), couleur (Co) et l'odeur (Od)) sont bien

présentés dans le premier axe (PC1) par rapport au second axe (PC2). La figure 34A a très bien divisé les paramètres précédents de la manière suivante:

- Axe 1, pour PC1:
 - Les paramètres de la clarté (L^*), gluten (G), indice de blanchiment (IBL), acceptabilité globale (Acc gl), diamètre (D), ratio de propagation (RP), humidité (H), amidon (A), matière organique (MO), apparence (App) et de la texture (Txt) ont un grand effet sur la PC1, car ils étaient positivement corrélés par cet axe ;
 - Les paramètres de l'indice de brunissement (IB), chromaticité (c^*), angle de teinte (h°), la différence de la couleur totale (ΔE), polyphénols (Pol), protéines (P), fibres (F), matière sèche (MS), cendres (c), pH, masse (m), perte de poids (PP), épaisseur (E), volume (V), densité (d), gout (Go), couleur (Co) et de l'odeur (Od) ont un faible effet sur la PC1, car ils étaient négativement corrélés par cet axe ;
 - Les paramètres de clarté (L^*) et d'acceptabilité globale (Acc gl) sont étroitement positionnés en raison des corrélations positives significatives entre eux (**Popovic et al., 2013**). La clarté est un paramètre important et agit sur l'acceptabilité de biscuit ;
 - Les paramètres de diamètre (D) et de ratio de propagation (RP) sont étroitement positionnés en raison de la corrélation positive entre eux (**Popovic et al., 2013**). Le diamètre est un paramètre déterminant de l'étalement de biscuit ;
 - Aussi, les paramètres de la masse (m), volume (V) et de la densité (d) sont étroitement positionnés en raison des corrélations significatives entre eux (**Popovic et al., 2013**) ;
 - En plus, les paramètres de l'odeur (Od) et de gout (Go) sont étroitement positionnés en raison de la corrélation positive entre eux (**Popovic et al., 2013**) ;
 - La direction opposée de l'humidité (H) et des cendres (C), d'un côté et de la matière sèche (MS) et de la matière organique (MO) de l'autre côté indique que l'humidité (H) et les cendres (C) sont les principaux contributeurs de la matière sèche (MS) et de la matière organique (MO), respectivement (**Popovic et al., 2013**).

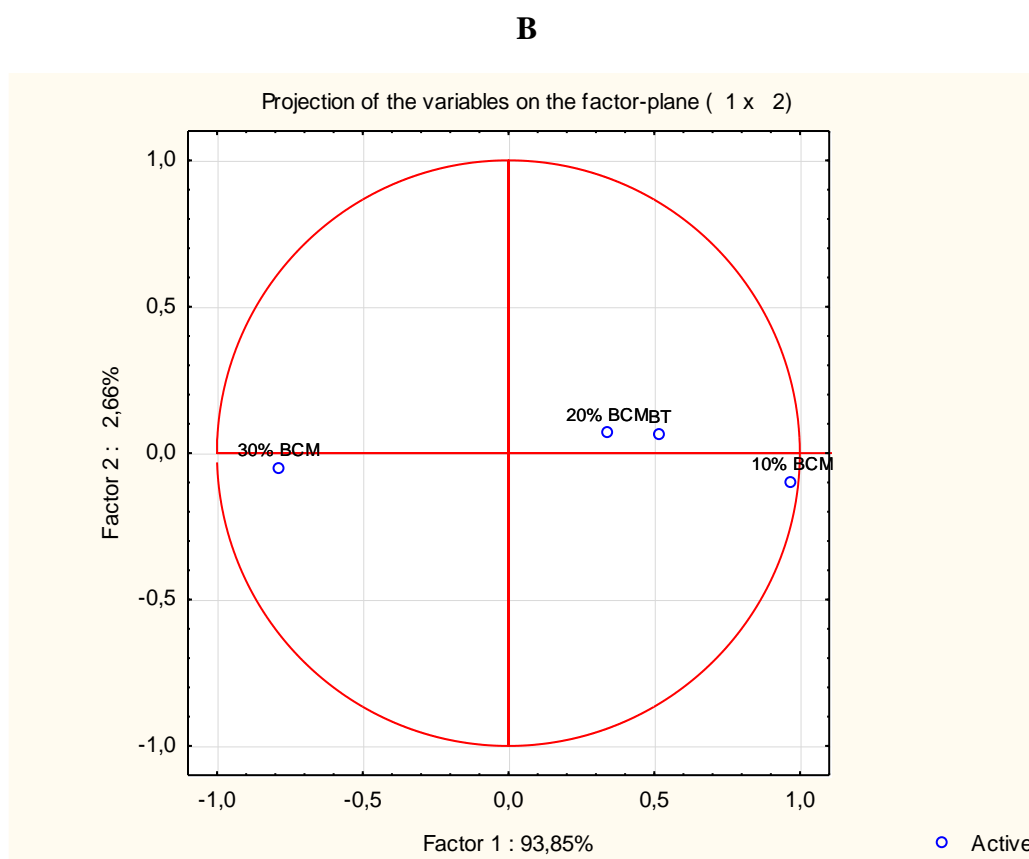
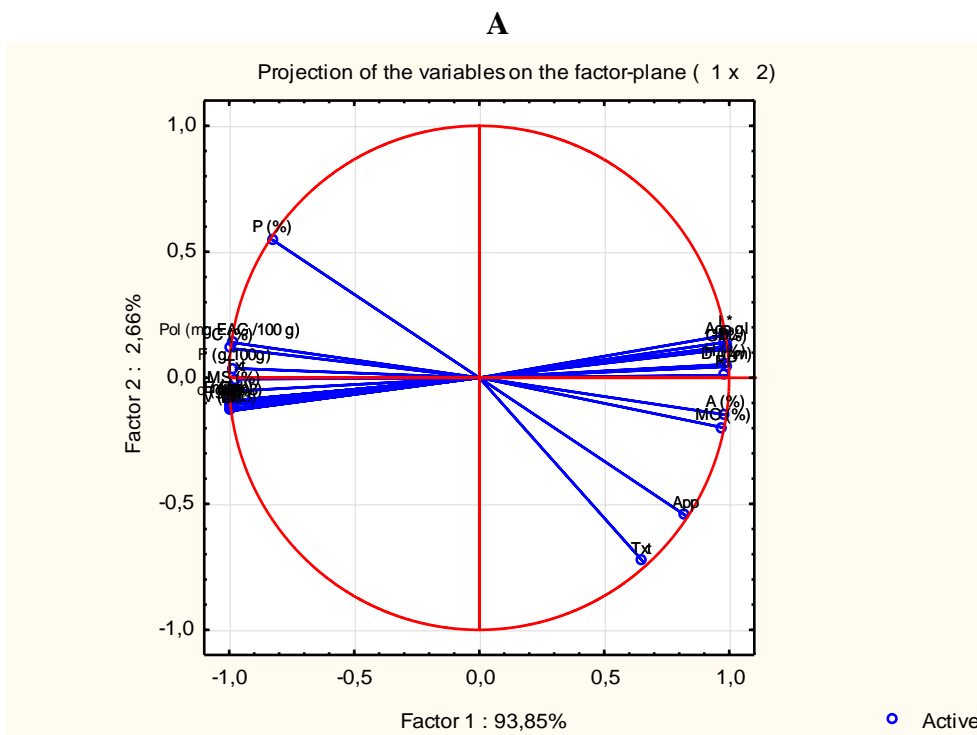


Figure 34 : Graphique de la courbe des charges des propriétés physicochimiques et sensorielles (A) et des scores (B) de biscuit témoin et des biscuits enrichis en poudre de chardon marie.

BT : biscuit témoin. BCM : biscuit enrichi en poudre de chardon marie. 10%, 20% et 30% : pourcentages d'enrichissement de biscuit en poudre de chardon marie.

Etude expérimentale

Pour la figure 34B, la distribution des scores a permis de regrouper les échantillons en 4 groupes (biscuit témoin (BT) et biscuits enrichis en 10, 20 et 30% de poudre des graines de chardon marie (10% BCM, 20% BCM et 30% BCM)). La différence entre ces groupes est basée sur le PC1 (la clarté (L^*), gluten (G), indice de blanchiment (IBL), acceptabilité globale (Acc gl), diamètre (D), ratio de propagation (RP), humidité (H), amidon (A), matière organique (MO), apparence (App), texture (Txt), indice de brunissement (IB), chromaticité (c^*), angle de teinte (h°), la différence de la couleur totale (ΔE), polyphénols (Pol), protéines (P), fibres (F), matière sèche (MS), cendres (c), pH, masse (m), perte de poids (PP), épaisseur (E), volume (V), densité (d), gout (Go), couleur (Co) et l'odeur (Od)). Les 3 groupes de biscuit témoin (BT) et des biscuits enrichis en 10% et 20% de poudre de chardon marie (10% BCM et 20% BCM) ont été notés positivement sur le PC1 et présentent des scores positives sur cet axe. Tandis que, le biscuit enrichi en 30% de poudre de chardon marie est noté négativement sur le PC1 et présente des scores négatives sur cet axe (Aponte et al., 2014). Le biscuit témoin est le plus acceptable (Acc gl) par les dégustateurs. Ce biscuit est fortement caractérisé par sa couleur blanche (L^* , IBL), son diamètre (D), son ratio de propagation (RP) et sa teneur élevée en gluten (G). Puisque, ce biscuit est situé très proche à ces paramètres. La couleur, le taux d'étalement et la teneur en gluten sont des paramètres très importants et agissent sur l'acceptation de biscuit. Le biscuit enrichi en 20% de poudre de chardon marie (20% BCM) est situé près de biscuit témoin (BT) que le biscuit enrichi en 10% de poudre de chardon marie (10% BCM). Ceci signifie que ce biscuit possède des statuts un peu semblables au biscuit témoin (Popovic et al., 2013). Tandis que, le biscuit enrichi en 10% de poudre de chardon marie est caractérisé par sa teneur en amidon (A), sa texture et son apparence (A) proche au biscuit témoin. Le biscuit enrichi en 30% de poudre de chardon marie (30% BCM) est situé loin de biscuit témoin (BT). Ceci signifie que ce biscuit possède des statuts différents au biscuit témoin (Popovic et al., 2013). En particulier, ce biscuit est fortement caractérisé par sa teneur élevée en protéines (P), en polyphénols (Pol), en cendres (C) et en fibres (F) puisque il est situé très proche à eux (figures 34A et 34B) (Aponte et al., 2014).

Les résultats d'analyse en composantes principales (ACP) ont révélé l'influence d'enrichissement des biscuits en différents pourcentages de poudre des graines de chardon marie sur ses propriétés physicochimiques et sensorielles (Aponte et al., 2014).

4. Traitements technologiques des biscuits enrichis en poudre de chardon marie

4.1.Effet de pétrissage

4.1.1. Optimisation par plan d'expériences de la qualité nutritive des biscuits enrichis en poudre de chardon marie et pétris pendant différentes durées

4.1.1.1.Ajustement du modèle

Le tableau 47 représente les résultats d'analyse des variances induites par l'estimation de l'effet de la durée de pétrissage et de pourcentage d'addition de la poudre de chardon marie sur les paramètres de qualité nutritive des biscuits enrichis.

Tableau 47 : Paramètres d'analyse de la variance (ANOVA) pour la formule des surfaces de réponse des biscuits enrichis en différents pourcentages de poudre de chardon marie (BCM) et pétris pendant différentes durées.

Somme séquentielle de carrés	Source			
	Manque d'ajustement	Pure erreur	F: variance Fischer	R-Sq (%)
Humidité (%)	0,000680*	0,0000005	0,0002*	99,34
Cendres (%)	0,000116*	0,0000003	0,0001*	99,99
Amidon (%)	0,001502*	0,0000001	0,0001*	99,96
Gluten (%)	0,000241*	0,0000001	0,0001*	99,93
Protéines (%)	0,000121*	0,0000003	0,0001*	99,90
Fibres (%)	0,155016*	0,0000008	0,6451*	96,98
Polyphénols (mg EAG/100g)	0,000153*	0,0000001	0,0001*	1

F: variance de Fischer-Snedecor; *: Significatif à $\alpha \leq 0,05$.

L'ajustement de modèle était adéquat car il a des valeurs de R^2 élevées pour toutes les réponses avec sa signification (tableau 47). Ces résultats sont semblables à ceux rapportés par **Phatcharee et al. (2014)**.

4.1.1.2.Biscuits optimaux

La figure 35 représente les surfaces de réponses de modèle expérimental des biscuits enrichis en différents pourcentages du poudre des graines de chardon marie et pétris pendant différentes durées.

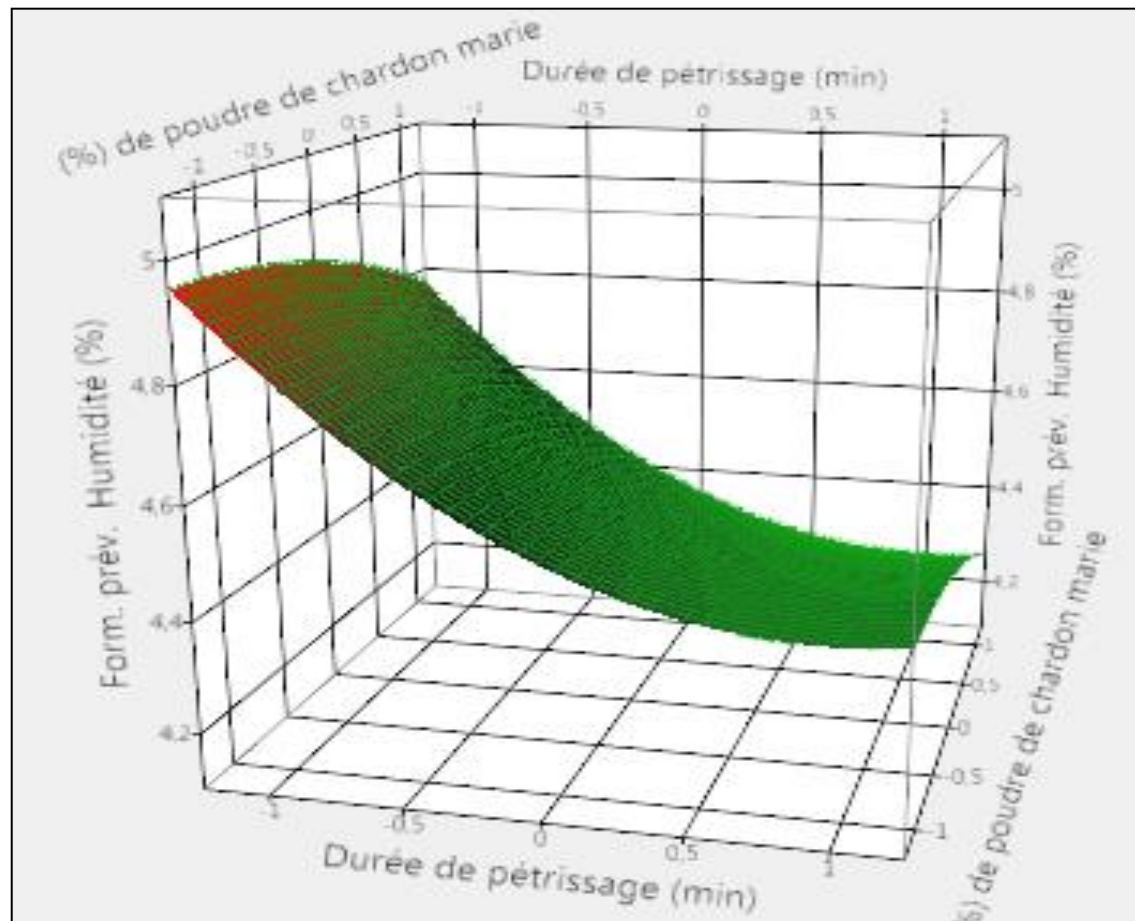


Figure 35 : Surface de réponse de l'effet combiné de pétrissage et de l'enrichissement en poudre des graines de chardon marie sur la teneur en humidité de biscuit.

Etude expérimentale

La sélection de meilleur temps de pétrissage et de bon pourcentage d'addition de la poudre de chardon marie (voir annexe 4) est optimisée par le plan d'expériences pour l'obtention d'un biscuit de meilleure qualité nutritive en appliquant la fonction souhaitable pour chaque variable pour obtenir sa valeur désirable.

Pour obtenir une bonne qualité nutritive de biscuit enrichi en différents pourcentages de poudre de chardon marie et pétri pendant différentes durées, on applique les conditions déterminées dans la figure 35, le tableau 48 et l'annexe 5 :

Tableau 48 : Optimisation de procédé de préparation des biscuits enrichis en poudre des graines de chardon marie.

Composé chimique	Durée de pétrissage (min)	Taux de poudre des graines de chardon marie (%)	Valeur prédite	Valeur calculée	Désirabilité	Modèle expérimental d'optimisation
Humidité (%)	10	20	4,493571	4,3	0,427454	$Y = 4,49357142857143 +$ $-0,205 \times X_1 + -0,075 \times$ $X_2 + X_1 \times X_2 \times -$ $0,00249999999999995 +$ $X_1 \times X_1 \times$ $0,102857142857142 + X_2$ $\times X_2 \times -$ $0,027142857142857$
Cendres (%)	15	30	3,897381	3,89	0,925077	$Y = 2,93142857142857 +$ $0 \times X_1 +$ $0,776666666666667 \times X_2$ $+ X_1 \times X_2 \times$ $0,00500000000000001 +$ $X_1 \times X_1 \times$ $0,0071428571428572 +$ $X_2 \times X_2 \times$ $0,177142857142857$
Amidon (%)	10	20	59,85357	57,97	0,582174	$Y = 59,8535714285714 +$ $-0,143333333333334 \times$ $X_1 + 1,39666666666667$ $\times X_2 + X_1 \times X_2 \times$

Etude expérimentale

						$0,0325000000000006 + X_1 \times X_1 \times 0,0378571428571429 + X_2 \times X_2 \times -0,412142857142856$
Gluten (%)	10	20	32,82286	32,1	0,735898	$Y= 32,8228571428571 + 0,0766666666666668 \times X_1 + 0,408333333333335 \times X_2 + X_1 \times X_2 \times 0,0199999999999978 + X_1 \times X_1 \times -0,00571428571428564 + X_2 \times X_2 \times -0,200714285714286$
Protéines (%)	15	27,71	6,181192	6,18	0,955935	$Y= 5,96428571428572 + 0,11 \times X_1 + 0,208333333333333 \times X_2 + X_1 \times X_2 \times 0,0199999999999998 + X_1 \times X_1 \times 0,0014285714285715 + X_2 \times X_2 \times -0,123571428571428$
Fibres (%)	4,41	30	1,352101	1,23	0,948815	$Y= 0,957857142857143 + 0,126666666666667 \times X_1 + 0,141666666666667 \times X_2 + X_1 \times X_2 \times -0,00250000000000003 + X_1 \times X_1 \times -0,210714285714286 + X_2 \times X_2 \times 0,234285714285714$
Polyphénols (mg EAG100g)	5	30	181,3042	181,3	0,916742	$Y= 168,105 + 0,0100000000000004 \times X_1 + 24,0666666666667 \times X_2 + X_1 \times X_2 \times -0,0124999999999957 + X_1 \times X_1 \times 0,00499999999999057 + X_2 \times X_2 \times -10,875$

L'optimisation du processus d'enrichissement et de pétrissage des biscuits conduit à une amélioration de leur qualité.

4.1.2. Dimensions physiques des biscuits

Les dimensions physiques des biscuits préparés et pétris pendant différentes durées sont représentées dans le tableau 49.

Tableau 49 : Effet de la durée de pétrissage sur les dimensions physiques de biscuit témoin et des biscuits enrichis en poudre de chardon marie.

Biscuits	Pétrissage (min)	Masse (g)	Perte de poids	Diamètre (mm)	Épaisseur (mm)	Volume (cm ³)	Ratio de propagation	Densité (g/cm ³)
BT	5	9,93±0,02 ^c	21,13±0,02 ^c	48,06±0,04 ^b	5,1±0,1 ^b	9,24±0,19 ^{bcd}	9,42±0,17 ^b	1,07±0,02 ^b
	10	9,81±0,01 ^a	20,87±0,02 ^a	46,87±0,01 ^a	5,21±0,01 ^a	8,98±0,02 ^a	8,99±0,01 ^a	1,09±0,003 ^a
	15	9,77±0,02 ^{bc}	20,79±0,005 ^{bc}	42,1±0,02 ^{ab}	5,30±0,01 ^b	7,37±0,02 ^{bcd}	7,94±0,01 ^b	1,32±0,001 ^b
10% BCM	5	6,93±0,02 ^{ab}	14,74±0,003 ^{ab}	45,05±0,1 ^{ab}	7,05±0,05 ^c	11,23±0,12 ^d	6,39±0,03 ^a	0,61±0,005 ^a
	10	6,77±0,06 ^{ab}	14,40±0,004 ^{ab}	43,8±0,1 ^{ab}	7,27±0,06 ^c	10,94±0,14 ^{cd}	6,02±0,03 ^a	0,61±0,002 ^a
	15	6,63±0,02 ^a	14,10±0,002 ^a	40,75±0,07 ^{ab}	7,5±0,1 ^c	9,77±0,16 ^{bcd}	5,43±0,06 ^a	0,67±0,009 ^a
20% BCM	5	6,82±0,02 ^{ab}	14,51±0,06 ^{ab}	41,30±0,2 ^{ab}	7,11±0,09 ^c	9,52±0,21 ^{bcd}	5,80±0,04 ^a	0,71±0,01 ^a
	10	6,63±0,02 ^a	14,10±0,01 ^a	40,50±0,2 ^{ab}	7,5±0,1 ^c	9,65±0,22 ^{bcd}	5,40±0,04 ^a	0,68±0,01 ^a
	15	6,52±0,03 ^a	13,87±0,01 ^a	39,00±1 ^{ab}	7,7±0,2 ^c	9,19±0,71 ^{bcd}	5,06±0,001 ^a	0,70±0,05 ^a
30% BCM	5	6,79±0,02 ^{ab}	14,44±0,001 ^{ab}	38,70±0,2 ^{ab}	7,37±0,02 ^c	8,66±0,11 ^{abcd}	5,25±0,01 ^a	0,78±0,007 ^{ab}
	10	6,58±0,02 ^a	14,00±0,1 ^a	37,15±0,09 ^{ab}	7,61±0,02 ^c	8,24±0,06 ^{abc}	4,88±0,001 ^a	0,79±0,003 ^{ab}
	15	6,47±0,03 ^a	13,76±0,01 ^a	35,70±0,1 ^{ab}	7,90±0,1 ^c	7,90±0,14 ^{ab}	4,51±0,04 ^a	0,81±0,01 ^{ab}

BT : biscuit témoin. BCM : biscuit enrichi en poudre de chardon marie. 10%, 20% et 30% pourcentage d'enrichissement de biscuit en poudre de chardon marie. Les différentes lettres au niveau de la même colonne signifient qu'il y a une différence significative entre les valeurs ($\alpha \leq 0,05$).

La masse (6,47-9,93 g) et le diamètre (35,70-48,06 mm) des biscuits ont été diminués dans la majorité des biscuits par l'augmentation de temps de pétrissage et de taux d'addition de poudre de chardon marie. Tandis que, l'épaisseur des biscuits a été augmentée (5,1-7,90 mm) par l'accroissement de temps de pétrissage et de taux d'addition de poudre de chardon marie. La réduction de diamètre est évidemment remontée au développement du gluten (Manohar et Rao, 1997). Similairement, Maache-Rezzoug et al. (1998)^b et Charun et al. (2000) ont signalé que l'augmentation de temps de pétrissage entraînait une augmentation de l'épaisseur et une réduction de poids et de diamètre des biscuits. Ces changements sont dus au ramollissement et au relâchement de la pâte au cours de pétrissage (Manohar et Rao, 1997). La densité de biscuit a été augmentée par le temps de pétrissage dans tous les biscuits (tableau 49). Ces résultats sont semblables à ceux rapportés par Charun et al. (2000). La pâte pétri pendant 15 minutes produit un biscuit témoin de grande densité (1,32 g/cm³). Ce résultat est similaire à celui trouvé par Manohar et Rao (1997). La densité est considérée comme le meilleur indice de texture des biscuits. Une densité plus faible signifie une plus grande croustillance et une valeur texturale plus élevée

(Mamat et Hill, 2014). Le temps de pétrissage a un effet considérable sur la qualité des biscuits (Manohar et Rao, 1997).

4.2.Effet de mode de cuisson

4.2.1. Propriétés physicochimiques des biscuits

Le tableau 50 représente l'effet de mode de cuisson sur les différentes propriétés physicochimiques des biscuits préparés.

Tableau 50: Effet de cuisson au four électrique (FE) et au microonde (MO) sur les propriétés physicochimiques de biscuit témoin et des biscuits enrichis en différents pourcentages de poudre de chardon marie.

Biscuit	Mode	Humidité (%)	Cendres (%)	pH	Amidon (%)	Gluten (%)	Protéines (%)	Fibres (%)	Polyphénols (%)
BT	FE	5,57±0,011 ^c	1,61±0,01 ^a	6,85±0,011 ^b	68,08±0,015 ^c	37,13±0,015 ^b	5,73±0,02 ^a	0,23±0,02 ^a	44,82±0,03 ^a
	MO	5,59±0,01 ^c	1,61±0,02 ^a	6,87±0,03 ^b	68,13±0,05 ^c	38,08±0,05 ^c	6,05±0,06 ^b	0,45±0,03 ^b	86,55±0,06 ^b
10% BCM	FE	4,43±0,115 ^{ab}	2,33±0,20 ^b	6,38±0,02 ^a	60,69±0,01 ^b	33,09±0,152 ^a	5,73±0,04 ^a	0,88±0,03 ^b	133,2±0,2 ^c
	MO	4,52±0,03 ^b	2,33±0,03 ^b	6,4±0,4 ^a	60,75±0,05 ^b	38,82±0,06 ^a	6,05±0,1 ^b	1,4±0,04 ^c	203,07±0,03 ^h
20% BCM	FE	4,39±0,03 ^{ab}	2,95±0,03 ^c	6,24±0,03 ^a	59,76±0,04 ^b	32,89±0,06 ^a	6,07±0,07 ^b	1,06±0,04 ^c	168,11±0,05 ^d
	MO	4,47±0,05 ^{ab}	2,95±0,05 ^c	6,28±0,04 ^a	59,82±0,06 ^b	33,17±0,01 ^a	5,74±0,03 ^a	1,69±0,02 ^f	193,01±0,03 ^f
30% BCM	FE	4,3±0,3 ^a	3,89±0,03 ^d	6,18±0,04 ^a	57,97±0,03 ^a	32,3±0,05 ^a	6,18±0,01 ^c	1,15±0,02 ^d	181,3±0,1 ^e
	MO	4,37±0,04 ^{ab}	3,89±0,02 ^d	6,22±0,02 ^a	58±2 ^a	32,83±1 ^a	6,52±0,02 ^d	1,83±0,02 ^g	193,17±0,03 ^g

BT : biscuit témoin. BCM : biscuit enrichi en poudre de chardon marie. 10%, 20% et 30% pourcentage d'enrichissement de biscuit en poudre de chardon marie. FE : four électrique. MO : Microonde. Les valeurs en exposant avec des différentes lettres dans la même colonne sont significativement différentes au seuil de signification de 5% ($\alpha \leq 0,05$).

Les teneurs en éléments nutritives (protéines, fibres, polyhénols) des biscuits cuits au four électrique sont inférieures à ceux des biscuits cuits au microonde (tableau 50). Tandis que, les biscuits enrichis et cuits au microonde ont des valeurs élevées des protéines (5,74-6,52%), des fibres (1,4-1,83%) et des polyphénols (193,01-203,07 mg EAG/100g). La cuisson au four électrique diminue la valeur nutritionnelle des biscuits. Ces résultats sont similaires à ceux rapportés par Mogol et Gökmen (2014).

Aussi la valeur de pH (6,18-6,85) et la teneur d'amidon (57,97-68,08%) ont été diminuées dans les biscuits cuits au four électrique. Au cours de la cuisson au four électrique, l'augmentation de la température du milieu provoque une

Etude expérimentale

hydrolyse partielle de l'amidon, permet de libérer les sucres, qui peuvent ultérieurement réagir seuls sous l'effet de la chaleur pour donner des produits de caramélisation ou avec les protéines pour donner des produits de Maillard, ce phénomène permet de donner un pH proche à l'acidité en comparaison au biscuit cuit au microonde (Ait Ameur, 2006).

4.2.2. Formation de l'hydroxyméthyle furfural (HMF) et de furfural dans les biscuits

Le tableau 51 représente la teneur en furfural et en hydroxyméthyle furfural dans les biscuits cuits au four électrique et au microonde. Le contenu de furfural n'est pas significativement affecté par le mode de cuisson. Tandis que, le mode de cuisson influe sur les niveaux de l'hydroxyméthyle furfural (HMF) des biscuits. Les biscuits cuits au four électrique ont des teneurs élevées de HMF (13,65-15,31 mg/kg MS.) en comparaison aux biscuits cuits au microonde (12,98-14,62 mg/kg MS.). Les valeurs calculées d'HMF (tableau 51) sont en accord avec celles rapportées par Ait Ameur (2006) (HMF est situé entre 3,7 et 193,3 mg.kg⁻¹ dans les produits céréaliers de petit déjeuner). Le temps de cuisson long au four électrique favorise la formation de HMF dans les biscuits (Ait-Ameur et al., 2008). Ces résultats sont similaires avec ceux rapportés par Petisca et al. (2013).

Tableau 51 : Effet de mode cuisson sur la formation de furfural et d'hydroxyméthyle furfural dans le biscuit témoin et les biscuits enrichis en différents pourcentages de poudre de chardon marie.

Biscuits	Four électrique		Microonde	
	F (mg/Kg MS.)	HMF (mg/Kg MS.)	F (mg/Kg MS.)	HMF (mg/Kg MS.)
BT	17,573±0,003 ^a	13,653±0,003 ^a	17,45±0,05 ^a	12,98±0,02 ^a
10% BCM	19,499±0,001 ^b	15,15±0,15 ^b	19,151±0,001 ^b	14,41±0,05 ^b
20% BCM	19,632±0,002 ^c	15,253±0,004 ^b	19,31±0,02 ^c	14,53±0,04 ^{bc}
30% BCM	19,705±0,002 ^d	15,31±0,06 ^b	19,43±0,03 ^d	14,62±0,03 ^c

BT : biscuit témoin. BCM : biscuit enrichi en poudre de chardon marie. 10%, 20% et 30% pourcentage d'enrichissement de biscuit en poudre de chardon marie. FE : four électrique. MO : microonde. F : Furfural. HMF : Hydroxyméthyle furfural. MS : matière sèche. Les valeurs en exposant avec différentes lettres dans la même colonne indiquent une différence significative ($\alpha \leq 0,05$).

Les biscuits enrichis en poudre de chardon marie ont des teneurs élevées de l'HMF (tableau 51). La variabilité de la concentration de l'HMF dans les biscuits résulte non seulement de la variation du mode de cuisson, mais aussi des conditions plus drastiques en termes de température et des teneurs en eau et en sucres sont nécessaires à la formation de l'HMF (Ait-Ameur *et al.*, 2008).

4.2.3. Modélisation des cinétiques de changement de la couleur des biscuits au cours de la cuisson

Les figures 36 et 37 représentent la variation des valeurs de la clarté « L^* » en fonction de temps de cuisson de biscuit témoin et de biscuit enrichi en poudre de chardon marie, respectivement. Tandis que, les figures 38 et 39 montrent le biscuit témoin et le biscuit enrichi en chardon marie, respectivement. Les valeurs de la clarté des biscuits ont été diminuées avec l'augmentation du temps de cuisson des biscuits. Les biscuits cuits au four électrique représentent des valeurs réduites de L^* en comparaison aux biscuits cuits au microonde. Ces résultats sont semblables à ceux de Keskin *et al.* (2005) et Purlis et Salvadori (2009). En plus, l'incorporation de la poudre de chardon marie au biscuit diminue sa clarté et lui donne une couleur sombre (figures 38 et 39).

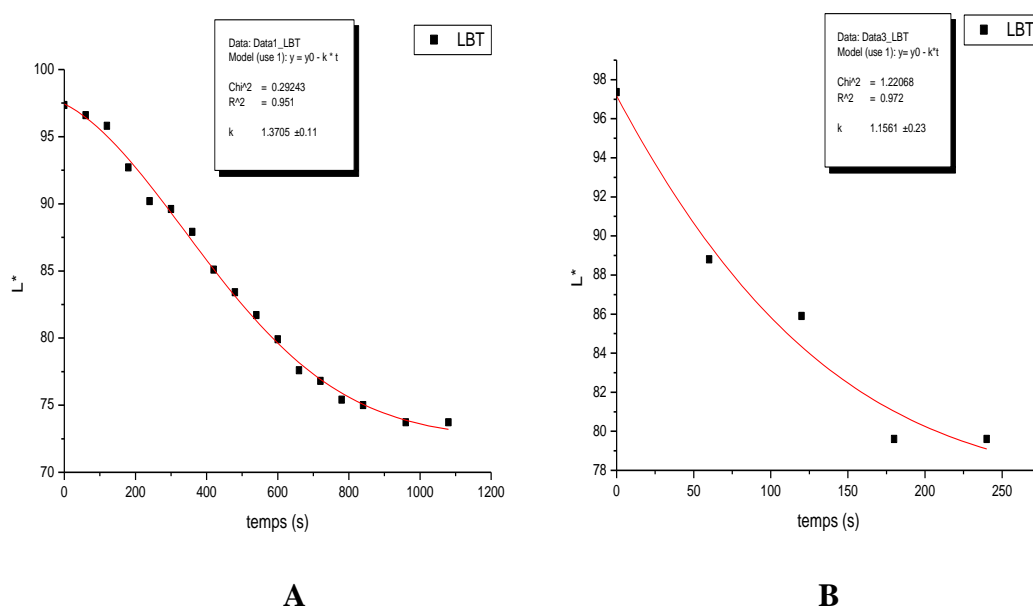


Figure 36 : Modélisation du changement de la clarté (L^*) de biscuit témoin (BT) cuit au four électrique (A) et au microonde (B) par le modèle cinétique d'ordre zéro

$$(L^* = L^*_0 - k \times t).$$

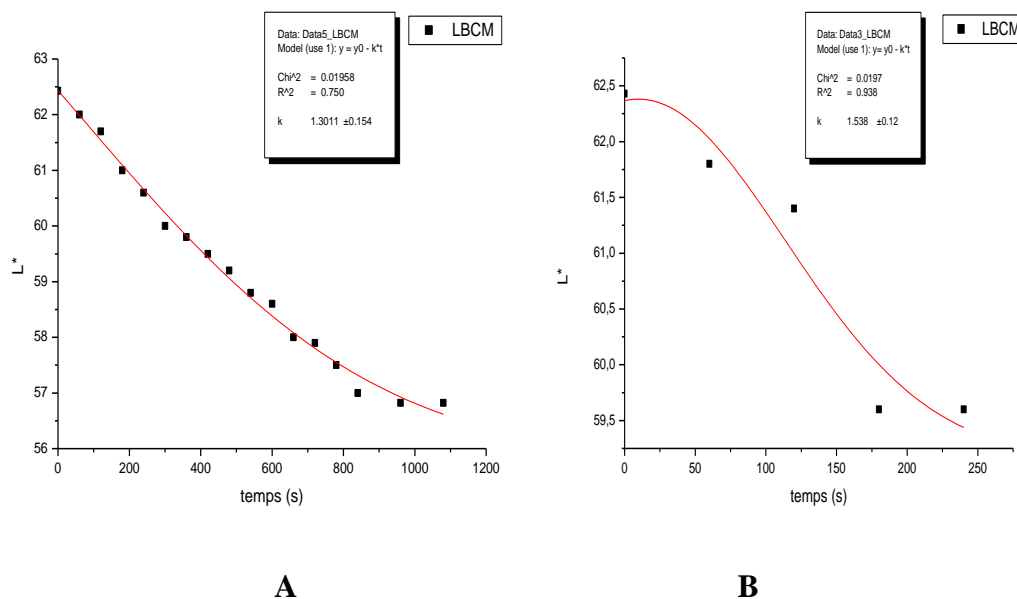


Figure 37 : Modélisation du changement de la clarté (L^*) de biscuit enrichi en 20% de poudre de chardon marie (BCM) cuit au four électrique (A) et au microonde (B) par le modèle cinétique d'ordre zéro ($L^* = L^*_0 - k \times t$).

Les valeurs de la clarté « L^* » ont été diminuées légèrement dans les biscuits cuits au microonde en comparaison à ceux cuits au four électrique. Ceci est expliqué par le noircissement excessif de la surface du biscuit exposée à une charge de chaleur élevée au four électrique (Sakin-Yilmazer et al., 2013). Tandis que, la cuisson au microonde affecte l'apparence des biscuits (figures 38 et 39).

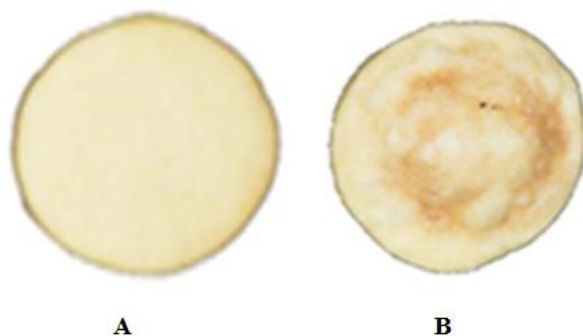


Figure 38 : Biscuit témoin cuit au four électrique (A) et au microonde (B).

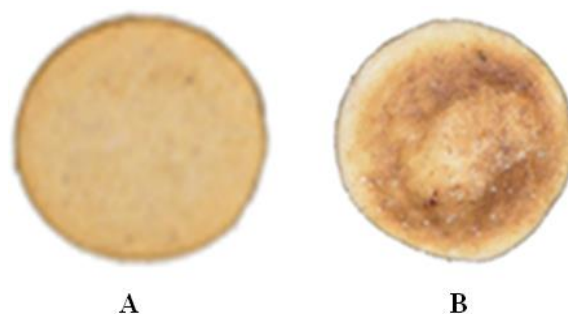


Figure 39 : Biscuit enrichi en 20% de poudre de chardon marie cuit au four électrique (A) et au microonde (B).

Le tableau 52 représente la modélisation du variation de la clarté (L^*) de biscuit témoin et de biscuit enrichi cuits au four électrique et au microonde. Afin de décrire le changement de la couleur au cours de la cuisson des biscuits, plusieurs modèles cinétiques ont été utilisés. La validation de modèle est représentée dans le tableau 52. La constante de vitesse de brunissage « k » de biscuit témoin varie de 0,00025 à 1,3705 min^{-1} et de 0,000345 à 1,561 min^{-1} pour ce cuit au four électrique et au microonde, respectivement. Tandis que, la constante de vitesse de brunissage « k » de biscuit enrichi en poudre de chardon marie varie de 0,00017 à 1,3011 min^{-1} et de 0,000291 à 1,538 min^{-1} pour ce cuit au four électrique et au microonde, respectivement. **Lukina et al. (2017)** ont trouvé que la vitesse de brunissage des biscuits à base de blé varie de 1,2045 à 1,4072 min^{-1} . La prédiction de la clarté pendant la cuisson était mieux décrite par le modèle cinétique d'ordre zéro pour le biscuit témoin et le biscuit enrichi en chardon marie cuits par les deux modes (les valeurs les plus petites de RMSE et les plus hautes de R^2). Ces résultats sont en accord avec ceux rapportés par **Van Boekel (2006)** et **Lukina et al. (2017)**.

Tableau 52 : Modélisation de la variation la clarté (L^*) de biscuit témoin et de biscuit enrichi en 20% de poudre de chardon marie cuits au four électrique (FE) et au microonde (MO).

Biscuit	Mode	Constants								
		Ordre de zéro			Premier ordre			Deuxième ordre		
		K (min ⁻¹)	R ²	RMS E	K (min ⁻¹)	R ²	RMSE	K (min ⁻¹)	R ²	RMSE
BT	FE	1,3705	0,951	3,2514	0,0142	0,882	3,5219	0,00025	0,750	3,5950
	MO	1,561	0,972	3,7711	0,0210	0,913	3,8214	0,000345	0,872	3,9215
20% BCM	FE	1,3011	0,750	3,2105	0,0118	0,837	3,4950	0,00017	0,515	3,5983
	MO	1,538	0,938	3,7583	0,0185	0,882	3,8014	0,000291	0,848	3,9011

BT : biscuit témoin. BCM : biscuit enrichi en poudre de chardon marie. 20% : pourcentage d'enrichissement de biscuit en poudre de chardon marie. FE : four électrique. MO : microonde. Les valeurs en exposant avec des différentes lettres dans la même ligne indiquent une différence significative ($\alpha \leq 0,05$).

Conclusion générale

Conclusion générale

L'objectif de ce travail est de préparer des biscuits enrichis par 10, 20 et 30% des différentes poudres (des glands de chêne naturels et traités et des graines de chardon marie) et d'étudier l'effet de certains traitements technologiques (pétrissage et cuisson) sur la qualité des biscuits préparés.

La qualité des biscuits est influencée par plusieurs facteurs tels que les ingrédients, les procédés et les conditions utilisées dans leur préparation :

- ✓ Les biscuits enrichis en poudre des glands de chêne naturels contiennent des teneurs élevées en polyphénols (198,5-215,5 mg EAG/100g) ;
- ✓ Les traitements de la fermentation et de la germination augmentent la teneur des protéines dans les biscuits enrichis par la poudre des glands de chêne (BCF : 5,24-5,47 et BCG : 5,45-5,72%, respectivement) ;
- ✓ L'addition de la poudre des graines de chardon marie au biscuit améliore sa teneur en cendres (2,33-3,89%), en protéines (5,73-6,18%) et en fibres (0,88-1,15%) ;
- ✓ La teneur de gluten a été diminuée dans tous les biscuits enrichis, ce qui signifie que les poudres d'enrichissement étudiées pourraient être utilisées comme des enrichissements naturels des produits de boulangerie sans gluten ;
- ✓ L'addition des pourcentages élevés des poudres d'enrichissement aux biscuits affecte ses dimensions physiques (épaisseur et diamètre) et diminue ses propriétés organoleptiques (couleur, texture, apparence, goût et acceptabilité) ;
- ✓ Le pétrissage pendant 15 minutes produit des biscuits courts et épais ;
- ✓ La cuisson prolongée au four électrique affecte l'aspect et la valeur nutritionnelle des biscuits enrichis ;
- ✓ Les biscuits cuits au four électrique contiennent des teneurs d'hydroxyméthyle furfural (HMF) supérieures à celles des biscuits cuits au microonde ;
- ✓ En plus, la cuisson au microonde maintient la qualité nutritive des biscuits enrichis (teneurs élevées des protéines, des fibres et des polyphénols) mais affecte son apparence ;

- ✓ L'utilisation de la méthode d'analyse factorielle en composantes principales (ACP) nous permet d'expliquer la corrélation entre les différentes propriétés et le taux d'enrichissement des biscuits ;
- ✓ D'autre coté, l'optimisation des processus d'enrichissement et des traitements technologiques des biscuits nous permet de déterminer les bonnes conditions de sa préparation pour améliorer sa qualité ;
- ✓ En plus, la modélisation de la clarté des biscuits au cours de cuisson nous permet de prédire le changement de couleur aux différentes durées et modes de cuisson.

Plusieurs problèmes doivent être résolus pour réussir l'enrichissement et le traitement technologique des biscuits. A la lumière des résultats obtenus, il nous semble conséquent de citer quelques points intéressantes qui peuvent former de nouveaux axes de la recherche :

- Combinaison des différentes poudres d'enrichissement dans la préparation des biscuits ;
- Utilisation des poudres d'enrichissement dans d'autres formulations (pain, crêpes.....) ;
- Estimation du rôle des tanins de chêne dans la conservation des biscuits ;
- Etude de la stabilité des biscuits enrichis et traités ;
- Utilisation des additifs et des enzymes pour améliorer la qualité des biscuits enrichis ;
- Les ingrédients des biscuits enrichis peuvent parfois interagir l'un avec l'autre ;
- Les processus utilisés dans la fabrication des biscuits enrichis doivent être conçus de manière à ne pas provoquer la dénaturation ni la perte des éléments nutritifs ;
- Etude de la rhéologie des pâtes enrichies et pétries pendant différentes durées;
- Analyse de la texture des biscuits obtenus à partir des pâtes pétries pendant différentes durées, enrichies par différentes poudres et cuites en différents modes ;

- Estimation de l'effet de la réfrigération et de la congélation de la pâte sur la qualité de biscuit ;
- Utilisation des méthodes de cuisson combinées (hybrides) pour améliorer et préserver la qualité des biscuits enrichis ;
- Emballage de biscuit enrichi peut affecter sa qualité sensorielle et la stabilité des nutriments ajoutés ; la couleur du produit peut changer et les ingrédients tels que les vitamines peuvent subir une oxydation ;
- Les composants des biscuits fonctionnels peuvent améliorer les fonctions vitales de l'organisme et ces effets bénéfiques peuvent être évalués par l'identification, la caractérisation, la mesure et la validation des marqueurs pertinents. La science des aliments fonctionnels devrait contribuer à la santé humaine au cours des prochaines décennies en réduisant les risques des maladies.

Synthèse des résultats

Synthèse des résultats

La qualité des biscuits est influencée par plusieurs facteurs tels que les ingrédients et les procédés utilisés dans leur préparation. Le but de ce travail est de préparer des biscuits enrichis en différents pourcentages des poudres des glands de chêne naturels et traités, et de poudre des graines de chardon marie. Aussi, d'étudier l'effet de la durée de pétrissage et de mode de cuisson sur la qualité des biscuits préparés. Les résultats de cette étude sont expliqués dans les points suivants :

1. Enrichissement des biscuits

1.1. Avantages

- ✓ L'incorporation de la poudre des glands de chêne naturels au biscuit améliore sa teneur en polyphénols (198,5-215,5 mg EAG/100g) ;
- ✓ La teneur en protéines des biscuits enrichis en poudre des glands de chêne a été augmentée par les traitements de la fermentation et de la germination (BCF : 5,24-5,47 et BCG : 5,45-5,72%, respectivement) ;
- ✓ Les traitements de la fermentation et de la germination améliorent la couleur et le goût des biscuits enrichis en chêne ;
- ✓ L'incorporation de la poudre des graines de chardon marie au biscuit augmente sa teneur en cendres (2,33-3,89%), en protéines (5,73-6,18%) et en fibres (0,88-1,15%) ;
- ✓ L'augmentation du pourcentage d'incorporation des poudres d'enrichissement au biscuit améliore sa qualité nutritive (teneur des protéines, des fibres et des polyphénols) ;
- ✓ La teneur de gluten a été diminuée dans tous les biscuits enrichis, ce qui signifie que les poudres d'enrichissement étudiées pourraient être utilisées pour préparer des produits céréaliers réduits en gluten.

1.2. Inconvénients

- ✓ Les biscuits enrichis en pourcentage élevé de poudre des glands de chêne naturels ont un mauvais goût avec une couleur sombre ;
- ✓ Les biscuits enrichis en poudre des glands de chêne fermentés ont une grande épaisseur avec un ratio de propagation très réduite ;
- ✓ Les biscuits enrichis en poudre des glands de chêne fermentés ont un arrière-goût acide ;

- ✓ L'augmentation de taux des poudres d'enrichissement incorporées aux biscuits affecte ses dimensions physiques et diminue ses propriétés organoleptiques (couleur, texture, apparence, gout et acceptabilité).

2. Traitements technologiques des biscuits

2.1. Avantages

- ✓ La cuisson au four électrique donne des biscuits de bon aspect et très acceptable ;
- ✓ La cuisson au microonde maintient la qualité nutritive (protéines, fibres et polyphénols) des biscuits enrichis ;
- ✓ La cuisson au microonde est très rapide en comparaison à la cuisson conventionnelle.

2.2. Inconvénients

- ✓ Les biscuits pétris pendant 15 minutes sont courts et épais ;
- ✓ La cuisson prolongée au four électrique affecte la valeur nutritionnelle des biscuits enrichis ;
- ✓ La cuisson au four électrique favorise la formation des quantités élevées de l'hydroxyméthyle furfural (HMF) ;
- ✓ La cuisson au microonde affecte l'apparence et la couleur des biscuits.

Références bibliographiques

Références bibliographiques

- Aamodt, A., Magnus, E.M. et Faergestad, E.M., 2003.**Effect of flour quality, ascorbic acid, and datem on dough rheological parameters and hearth loaves characteristics. *Journal of Food Sciences*, **68**: 2201-2210.
- AACC, 2000a.** Official Methods of Analysis. 9^{ème} édition. American Association Of Cereal Chemistry. États-Unis, St. Paul., Minnesota.
- AACC, 2000b.** Official Methods of Analysis. 10^{ème} édition. American Association Of Cereal Chemistry. États-Unis, St. Paul., Minnesota.
- AACC, 2012.** Official Methods of Analysis. 11^{ème} édition. American Association Of Cereal Chemistry. États-Unis, St. Paul., Minnesota.
- Abd El-Megeid, A.A., AbdAllah, I.Z.A., Elsadek, M.F. et Abd El-Moneim, Y.F., 2009.** The protective effect of the fortified bread with green tea against chronic renal failure induced by excessive dietary arginine in male albino rats. *World Journal of Dairy and Food Sciences*, **4**: 107-117.
- Abd Raboh, F.F., 2012.** Chemical studies on milk thistle seed as a novel source of human food. Thèse de doctorat en sciences et technologies alimentaires. Université de Tanta, Egypt, 163 p.
- Abu Jadayil, S., Tukan, S.K. et Takruri, H.R., 1999.**Bioavailability of iron from four different local food plants in Jordan. *Plant Foods for Human Nutrition*, **54(4)**: 285-294.
- Acun, S. et Gül, H., 2014.** Effects of grape pomace and grape seed flours on cookie quality. *Quality Assurance and Safety of Crops et Foods*, **6(1)**: 81-88.
- Adebayo-Oyetero Abiodun, O., Ogundipe Oladeinde, O., Azoro Chispel, G. et Adeyeye Samuel, A.O., 2016.** Production and Evaluation of Ginger Spiced Cookies from Wheat-Plantain Composite Flour. *The Pacific Journal of Science and Technology*, **17(1)**: 280-287.
- Adebowale, O.J. et Maliki, K., 2011.** Effect of fermentation period on the chemical composition and functional properties of Pigeon pea (*Cajanus cajan*) seed flour. *International Food Research Journal*, **18(4)**: 1329-1333.
- Adegoke, G.O, Oyekunle, A.O. et Afolabi, M.O., 2017.** Functional Biscuits from Wheat, Soya Bean and Turmeric (*Curcuma Longa*): Optimization of Ingredients Levels Using Response Surface Methodology. *Research Journal of Food and Nutrition*, **1(1)**:13-22.
- AFNOR, 1991.** Céréales et produits céréaliers. Détermination de l'amidon et de protéines. Association Française de Normalisation. Edition AFNOR, Paris, 264, 360 p.
- AFTER, 2011.** Biochemical and nutritional analysis. Détermination de la vitamine C. Chemical analysis G.A N°245025. Edition African Food Tradition revisited by Research. Edition AFTER, Deliverable, 82 p.
- Agrahar-Murugkar, D., Gulati, P., Kotwaliwale, N. et Gupta, C., 2015.** Evaluation of nutritional, textural and particle size characteristics of dough and biscuits made from composite flours containing sprouted and malted ingredients. *Journal of Food Science and Technology*, **52(8)**: 5129-5137.
- Agu, H.O. et Okoli, N.A., 2014.** Physico-chemical, sensory, and microbiological assessments of wheat-based biscuit improved with beniseed and unripe plantain. *Food Science and Nutrition*, **2(5)**: 464-469.
- Ait Aneur, L., 2006.** Evolution de la qualité nutritionnelle des protéines de biscuits modèles au cours de la cuisson au travers d'indicateurs de la réaction de Maillard :

Intérêt de la fluorescence frontale. Thèse de doctorat. Institut National Agronomique, Paris – Grignon. Ecole Doctorale ABIES Agriculture – Alimentation – Biologie – Environnements Santé. Paris, 207p.

Ait-Ameur, L., Rega, B., Giampaoli, P., Trystram, G. et Birlouez-Aragon, I., 2008. The fate of furfurals and other volatile markers during the baking process of a model cookie. *Food Chemistry*, **111**: 758-763.

Ajila, C.M., Leelavathi, K. et Rao, U., 2008. Improvement of dietary fiber content and antioxidant properties in soft dough biscuits with the incorporation of mango peel powder. *Journal of Cereal Science*, **48**: 319-326.

Akajiaku, L.O., kabuo, N.O., Alagbaoso, S.O., Orji, I.G. et Nwogu, A.S., 2018. Proximate, Mineral and Sensory Properties of Cookies Made from Tiger-Nut Flour. *Journal of Nutrition and Dietetic Practice*, **2(1)**:1-5.

Aliyas, I.M., 2015. Wild Milk Thistle unique fatty plant. *International Journal of Science and Research*, **6(1)**: 1227-1229.

Amellal, C.H., 2008. Aptitudes technologiques de quelques variétés communes de dattes : formulation d'un yaourt naturellement sucré et aromatisé. Thèse de doctorat en Génie Alimentaires. Université M'Hamed Bougara Boumerdes, Algérie, 164 p

Amnah, M. et Alsuhaibani, A., 2015. Biochemical and Biological Study of Biscuit Fortified With Apple Powder. *Middle East Journal of Agriculture Research*, **4(4)**: 984-990.

Andrzejewska, J., Tommaso, M. et Sadowska, K., 2015. Silybum marianum: Non-medical exploitation of the species. *Annals of Applied Biology*, **167(3)**: 285-294.

Ansari, M.M. et Kumar, S., 2012. Fortification of Food and Beverages with Phytonutrients. *Food and Public Health*, **2(6)**: 241-253. DOI: 10.5923/j.fph.20120206.09.

AOAC, 2005. Official Methods of Analysis. 18^{ème} édition. Association Of Analytical Chemist. États-Unis, Washington, DC.

Aponte, M., Boscaino, F., Sorrentino, A., Coppola, R., Masi, P. et Romano, A., 2014. Effects of fermentation and rye flour on microstructure and volatile compounds of chestnut flour based sourdoughs. *LWT - Food Sciences and Technology*, **58(2)**: 387-395.

Apostol, L., Iorga, S., Mosoiu, C., Racovita, R.C. et Niculae, O.M., 2017. The effects of partially defatted milk thistle (*silybum marianum*) seed flour on wheat flour. *Journal of International Scientific Publication*, **5(2017)**: 74-84.

Ariful, A.Md., Jahangir, A. Md., Abdul Hakim, Md., Obidul Huq, A.K. et Golam Moktadir, S.M., 2014. Development of fiber enriched herbal biscuits: A preliminary study on sensory evaluation and chemical composition. *International Journal of Nutrition and Food Sciences*, **3(4)**: 246-250.

Au, D.T., Wu, J., Jiang, Z., Chen, H., Lu, G. et Zhao, Z., 2008. Ethnobotanical study of medicinal plants used by Hakka in Guangdong, China. *Journal of Ethnopharmacology*, **117**: 41-50.

Awad-Allah, M.A.A. 2013. Evaluation of selected nuts and their proteins functional properties. *Journal of Applied Sciences Research*, **9(1)**: 885-896.

Bahmani, M., Forouzan, S., Fazeli-Moghadam, E., Rafieian-Kopaei, M., Adineh, A. et Saberianpour, S., 2015. Oak (*Quercus branti*): An overview, *Journal of Chemical and Pharmaceutical Research*, **7(1)**:634-639.

Bajaj, S., Urooj, A. et Prabhasankar, P., 2006. Effect of incorporation of mint on texture, colour and sensory parameters of biscuits. *International Journal of Food Properties*, **9**: 691-700.

- Baljeet, S.Y., Ritika, B.Y. et Reena, K., 2014.** Effect of incorporation of carrot pomace powder and germinated chickpea flour on the quality characteristics of biscuits. *International Food Research Journal*, **21(1)**: 217-222.
- Bassiouny, S.S., Hassanien, F.R., Ali, F.A.E., Sohair, M. et El-Kayati, M., 1990.** Efficiency of antioxidants from natural sources in bakery products. *Food Chemistry*, **37**: 297-305.
- Ben Dkhil, B. et Denden, M., 2014.** Effet de la température sur la germination, la dégradation des réserves protéiques et minérales des graines du gombo (*Abelmoschus esculentus* L.). *Journal of New Sciences*, **5(4)**: 25-33.
- Beugré Grah, A.M., Yapó Beda, M., Dakia Aubin, P., Niaba, K.P.V. et Gnakri, D., 2014.** Manufacture of biscuit from the flour of wheat and lentil seeds as a food supplement. *European Journal of Food Science and Technology*, **2(2)**: 23-32.
- Bigنامي, C., Poalocci, A., Scossa, A. et Bertazza, G., 2000.** Preliminary evaluation of nutritional et medicinal component of *Crataegus azarolus* fruits. *Journal of food Enginnering*, **5**: 241-247.
- Biguzzi, C., 2013.** L'amélioration de la qualité nutritionnelle est-elle compatible avec le maintien de la qualité sensorielle ? : l'exemple des biscuits. Thèse de doctorat en Sciences de l'Alimentation. Université De Bourgogn, 238 p.
- Bilgiçli, N., Elgun, A., Herken, E.N., Turker, S., Ertas, N. et Ibanoglu, S., 2006.** Effect of wheat germ/bran addition on the chemical, nutritional and sensory quality of tarhana, a fermented wheat flour-yoghurt product. *Journal of Food Engineering*, **77**: 680-686.
- Bojana, F., Olivera, Š. et Marija, B.S., 2012.** Enrichment of Ginger Nut Biscuits with Wholegrain Buckwheat and Rye Flour. *The European Journal of Plant Science and Biotechnology*, **6(2)**: 57-62.
- Boobier, W.J., Baker, J.S. et Davies, B., 2006.** Development of a healthy biscuit: an alternative approach to biscuit manufacture. *Nutrition Journal*, **5**: 1-7.
- Bourekoua, H., 2018.** Panification traditionnelle sans gluten type « khobz eddar » : formulation avec améliorants naturels. Thèse de doctorat en Sciences. Université Freres Mentouri Constantine 1, Algérie, 137 p.
- Bourekoua, H., Benatallah, L., Zidoune, M.N. et Rosell, C.M., 2016.** Developing gluten free bakery improvers by hydrothermal treatment of rice and corn flours. *LWT-Food Science and Technology*, **73(2016)**: 342-350.
- Brahim, M., Ramdane, S. et Adli, Z., 2017.** La consommation alimentaire des céréales et dérivées selon les catégories socio-professionnelles en Algérie. *Revue Agrobiologia*, **7(1)**: 382-389..
- Brennan, C.S. et Samyue, E., 2004.** Evaluation of starch degradation and textural characteristics of dietary fiber enriched biscuits. *International Journal of Food Properties*, **7**: 647-657.
- Brodowska, M., Guzek, D. et Wierzbicka, A., 2014.** Modern technological solutions used in the production of bakery products with high biological value. *Advances in Science and Technology Research Journal*, **8(22)**: 83-92.
- Buche, F., 2011.** Influence de la formulation de pâtes de farine de blé sur leur consommation d'oxygène et leur production de dioxyde de carbon au cours du pétrissage et de la fermentation. Conséquences biochimiques et rhéologiques. Thèse de doctorat en Sciences des Aliments. Ecole doctorale ABIES, Agro Paris Tech, 403 p.
- Bukya, A., Sunooj, K.V. et Babu Surendra, A., 2013.** Standardization and evaluation of physical, textural and organoleptic properties of chicken biscuits. *International Journal of Advanced Research*, **1(6)**: 163-168.

- Canja, C.M., Lupu, M., Taulea, G., 2014.** The influence of kneading time on bread dough quality. *Bulletin of the Transilvania University of Braşov, Series II: Forestry, Wood Industry, Agricultural Food Engineering*, **7(56)**: 79-84.
- Cantos, E., Espin, J.C., Lopez-Bote, C., De La Hoz, L., Ordonez, J.A. et Tomas-Barberan, F.A., 2003.** Phenolic compounds and fatty acids from acorns (*Quercus spp.*), the main constituent of free-range Iberian pigs. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, **51**: 6248-6255.
- Charun, E., Abecassis, J., Contamine, A.S., Roulland, T.M., Vergnes, B. et Morel, M.H., 2000.** Effects of temperature and mechanical input on semisweet biscuit (cookie) quality and dough characteristics. *Cereal Chemistry*, **77(3)**: 265-271.
- Chauhan, A., Saxen, D.C. et Singh, S., 2016.** Physical, textural, and sensory characteristics of wheat and amaranth flour blend cookies. *Cogent Food and Agriculture*, **2**: 1-8.
- Chinma, C.E., Adewuyi, O. et Abu, J.O., 2009.** Effect of germination on the chemical, functional and pasting properties of flour from brown and yellow varieties of tigernut (*Cyperus esculentus*). *Food Research International*, **42**: 1004-1009.
- Choudhury, M., Majumdar, A.E. et Janghu, S., 2016.** Development and acceptance analysis of mixed fruit pomace fortified high-fibre biscuits. *International Journal of Advances in Science Engineering and Technology*, **4(2)**: 35-39.
- Contamine, A.S., Abecassis, J., Morel, M.H., Vergnes, B. et Verel, A., 1995.** Soft wheat products Effect of mixing conditions on the quality of dough and biscuits. *Cereal Chemistry*, **72(6)**: 516-522.
- Cornejo, F., Caceres, P.J., Martinez-Villaluenga, C., Rosell, C.M. et Frias, J., 2015.** Effects of germination on the nutritive value and bioactive compounds of brown rice breads. *Food Chemistry*, **173**: 298-304.
- Correia, P.R., Leitao, A.E. et Beirao-da-Costa, M.L., 2009a.** Effect of drying temperatures on chemical and morphological properties of acorn flours. *International Journal of Food Science and Technology*, **44**: 1729-1736.
- Correia, P.R., Leitao, A.E. et Beirao-da-Costa, M.L., 2009b.** The effect of drying temperatures on morphological and chemical properties of dried chestnuts flours. *Journal of Food Engineering*, **90(3)**: 325-332.
- Correia, P.R. et Beirao-da-Costa, M.L., 2011.** Effect of drying temperatures on starch-related functional and thermal properties of acorn flours. *Journal of Food Science*, **76(2)**: E196-E202.
- Cukelj, N., Novotni, D. et Sarajlija H., 2017.** Flaxseed and multigrain mixtures in the development of functional biscuits. *LWT - Food Science and Technology*, **86**: 85-92.
- Dauda, A.O., Abiodun, O.A., Arise, A.K. et Oyeyinka, S.A., 2018.** Nutritional and consumers acceptance of biscuit made from wheat flour fortified with partially defatted groundnut paste. *LWT - Food Science and Technology*, **90**: 265-269.
- Dayakar, R.B. et Bhargavi, G., 2017.** Technology involved in quality of biscuits: influence of factors and impact on processing – A critical review. *International Journal of Pure et Applied Bioscience*, **5(4)**: 532-542.
- Denis, A., 2011.** Les biscuits et gâteaux : toute une diversité. Cahiers de nutrition et de Desf. extract on isolated rat duodenum. *Journal of Ethnopharmacology*, **126**: 565-571.
- Devi, A. et Khatkar, B.S., 2016.** Physicochemical, rheological and functional properties of fats and oils in relation to cookie quality: a review. *Journal of Food Science and Technology*, **53(10)**: 3633-3641.

- Dogan, I.S., 2006.** Effect of oven types on the characteristics of biscuits made from refrigerated and frozen dough. *Journal of Food Technology and Biotechnology*, **44(1)**: 117-122.
- Douiri, I., 2007.** Instrumentation d'un four pilote pour la cuisson de génoise. Thèse de doctorat en Génie des Procédés. Ecole Nationale Supérieure des Industries Agricoles et Alimentaires. Ecole Doctorale Agriculture, Alimentation, Biologie, Environnements et Santé. Sciences de l'ingénieur [physics]. ENSIA, AgroParisTech, 148 p. HAL Id: pastel-00004531, <https://pastel.archives-ouvertes.fr/pastel-00004531>.
- Dreher, M.L. et Patek, J.W., 1984.** Effects of supplementation of short bread cookies with roasted whole navy bean flour and high protein flour. *Journal of Food Science*, **49**: 922-924.
- Eke-Ejiofor, J., Beleya, E.A. et Onyenorah, N.I., 2014.** The effect of processing methods on the functional and compositional properties of jackfruit seeds flour. *International Journal of Nutrition and Food Sciences*, **3(3)**: 166-173.
- El-Sharnouby, G.A., Aleid, S.M. et Al-Otaibi Mutlaq, M., 2012.** Nutritional quality of biscuit supplemented with wheat bran and date palm fruits (*Phoenix dactylifera* L.). *Food and Nutrition Sciences*, **3**: 322-328.
- Elkhalifa, A.O. et Bernhardt, R., 2010.** Influence of grain germination on functional properties of sorghum flour. *Food Chemistry*, **121**: 387-392.
- ElMahi, F.Z., Benali, M., Dif, M.M., Bouazza, S. et Rih, A., 2016.** First phytochemical analysis of the anti-nutritional aspect of holm oak acorn (*Quercus ilex* L.) of tessala (Algeria NW) before and after cooking. *Advances in Environmental Biology*, **10(1)**: 259-264.
- Espiard, E., 2002.** Introduction à la transformation industrielle des fruits. Edition Tec et Doc., Paris, 360 p.
- Feillet, P., 2000.** Le grain de blé, composition et utilisation. Edition Quae, INRA. Paris, 308 p.
- Fellows, P., 2000.** Food Processing Technology Principles and Practice. 2^{ème} édition. Wood head Publishing, Cambridge England. 575 p.
- Floros, J.D., Newsome, R. et Fisher, W., 2010.** Feeding the world today and tomorrow: the importance of food science and technology :An IFT scientific review. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, **2010**: 1-28.
- Fos'hat, M., Etemad, V., Gharibzahedi, M.T.S. et Ghahderijani, M., 2011.** Physical, mechanical and aerodynamic properties of acorn (*Quercus suber* L.) as potentials for development of processing machines. *Australian Journal of Corps Sciences*, **5(4)**: 473-478.
- Fredot, E., 2005.** Connaissance des aliments : Bases alimentaires et nutritionnelles de la diététique. Edition Lavoisier, Paris, 424 p.
- Frost, D.J., Adhikari, K. et Lewis, D.S., 2011.** Effect of barley flour on the physical and sensory characteristics of chocolate chip cookies. *Journal of Food Sciences and Technology*, **48(5)**: 569-576.
- Fustier Patrick, J., 2006.** Influence des fractions de mouture de blé tendre (farines patente, de-coupage et basse) sur les propriétés rhéologiques des pâtes et caractéristiques des biscuits. Thèse de doctorat en Sciences des Aliments et de Nutrition. Université Laval Québec, 293 p.
- Ganorkar, P.M. et Jain, R.K., 2014.** Effect of flaxseed incorporation on physical, sensorial, textural and chemical attributes of cookies. *International Food Research Journal*, **21(4)**: 1515-1521.

- Gbenga-Fabusiwa, F.J., Oladele, E.P. et Oboh, G., 2018.** Nutritional properties, sensory qualities and glycemic response of biscuits produced from pigeon pea-wheat composite flour. *Journal of Food Biochemistry*, **e12505** : 1-11.
- Galla, N.R., Pamidighantam, P.R., Karakala, B., Gurusiddaiah, R.M. et Akula, S., 2007.** Nutritional, textural and sensory quality of biscuits supplemented with spinach (*Spinacia oleracea* L.). *International Journal of Gastronomy and Food Science*, **7**: 20-26.
- Gallagher, E., O'Brien, C.M., Scannell, A.G.M. et Arendt, E.K., 2003.** Evaluation of sugar replacers in short dough biscuit production. *Journal of Food Engineering*. **56**: 261-263.
- Galvan, J.V., Novo, J.J.J., Cabrera, A.G., Ariza, D., Garcia-Olmo, J. et Cerrillo, R.M.N., 2011.** Population variability based on the morphometry and chemical composition of the acorn in holm oak (*Quercus ilex* subsp. Ballota [Desf.] Samp.). *European Journal of Forest Research*, **11**: 3-9.
- Gernah, D.I., Ariahu, C.C. et Ingbian, C.C., 2011.** Effects of malting and lactic fermentation on some chemical and functional properties of maize (*Zea Mays*). *American Journal of Food and Technology*, **6(5)**: 404-412.
- Ghaderi-Ghahfarrokhi, M., Sadeghi-Mahoonak, A.R., Alami, M. et Mousavi, K., 2017.** Effect of processing treatments on polyphenol removal from kernel of two Iranian acorns varieties. *International Food Research Journal*, **24(1)**: 86-93.
- Ghavidel, R.A. et Prakash, J., 2007.** The impact of germination and dehulling on nutrients, antinutrients, in vitro iron and calcium bioavailability and in vitro starch and protein digestibility of some legume seeds. *LWT*, **40**: 1292-1299.
- Cheikh-Rouhou, S., Hentati, B., Besbes, S., Blecker, C., Deroanne, C. et Attia, H., 2006.** Chemical composition and lipid fraction characteristics of Aleppo Pine (*Pinus halepensis* Mill.) seeds cultivated in Tunisia. *Food Science and Technology International*, **15(5)**: 407-416.
- Giami, S.Y., Achinewhu, S.C. et Ibaakee, C., 2005.** The quality and sensory attributes of cookies supplemented with fluted pumpkin (*Telfairia occidentalis* Hook) seed flour. *International Journal of Food Science and Technology*, **40**: 613-620.
- Gorecka, D., Pacholek, B., Dziejic, K. et Milena, G., 2010.** Raspberry pomace as a potential fiber source for cookies enrichment. *Acta Scientiarum Polonorum Technologia Alimentaria*, **9(4)**: 451-462.
- Goupy, J. et Creighton, L., 2006.** Introduction aux plans d'expériences. *Donud*. 336p.
- Gupta, M., Bawa, A.S. et Abu-Ghannam, N., 2011.** Effect of barley flour and freeze-thaw cycles on textural nutritional and functional properties of cookies. *Food and Bioproducts Processing*, **89**: 520-527.
- Gül, H., Yanik, A. et Acun, S., 2013.** Effects of white cabbage powder on cookie quality. *Journal of Food, Agriculture and Environment*, **11(1)**: 68-72.
- Hallen, E., Ibanoglu, S. et Ainsworth, P., 2004.** Effect of fermented/germinated cowpea flour addition on the rheological and baking properties of wheat flour. *Journal of Food Engineering*, **63**: 177-184.
- Hegazy, N.A. et Faheid, S.M.N., 1990.** Rheological and sensory characteristics of doughs and cookies based on wheat, soybean, chick pea and lupine flour. *Food / Nahrung Banner*, **34(9)**: 835-841.
- Hegazy, N.A., Kamil, M.M., Hussein, A.M.S. et Bareh, G.F., 2014.** Chemical and technological properties of improved biscuit by chestnut flour. *International Journal of Food and Nutritional Sciences*, **3(6)**: 7-15.

- Hooda, S. et Jood, S., 2005.** Organoleptic and nutritional evaluation of wheat biscuits supplemented with untreated and treated fenugreek flour. *Food Chemistry*, **90**: 427-435.
- Hui, Y.H., Corke, H., De Leyn, I., Nip, W.K. et Cross, N., 2006.** Bakery Products Science and Technology. 1^{ère} édition. *Blackwell Publishing Professional*, 2121 State Avenue, Ames, Iowa 50014, USA, 575 p.
- Hyun-Jung, C., Ahra, C. et Seung-Taik, L., 2014.** Utilization of germinated and heat-moisture treated brown rices in sugar-snap cookies, *LWT - Food Science and Technology*, **57**: 260-266.
- Idris, W.H., AbdeRahman, S.M., El Maki, H.B., Babiker, E.E. et El Tinay, A.H., 2005.** Effect of germination, fermentation and cooking on phytic acid and tannin contents and Hcl-extractability of minerals of sorghum (*Sorghum bicolor*) cultivars. *Journal of Food Technology*, **3(3)**: 410-416.
- Ingle, M., Ingle, M.P., Thorat, S.S., Nimbalkar, C.A. et Nawkar, R.R., 2017.** Nutritional Evaluation of Cookies Enriched with Beetroot (*Beta vulgaris* L.) Powder. *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*, **6(3)**: 1888-1896.
- Issar, K., 2011.** Studies on extraction and characterization of dietary fibre from apple pomace and its utilization for preparation of fibre enriched products. Thèse de doctorat en Horticultur (Technologie post-récolte) Collège d'Horticulture. Université Dr Yashwant Singh Parmar de l'Horticulture et de la Foresterie, Nauni, Solan - 173 230 (H.P.), Inde, 145 p.
- Ismail, T., Akhtar, S., Riaz, M. et Ismail, A., 2014.** Effect of pomegranate peel supplementation on nutritional, organoleptic and stability properties of cookies. *International Journal of Food Sciences and Nutrition*, **65**: 661-666.
- Jang, D. et Xu, Z., 2009.** Lipophilic and hydrophilic antioxidants and their antioxidant activities in purple rice bran. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, **57**: 858-862.
- Jenkins, A.L., Jenkins, D.J.A., Wolever, T.M.S., Rogovik, A.L., Jovanovski, E., Bozikov, V., Rahelic, D. et Vuksan, V., 2008.** Comparable postprandial glucose reductions with viscous fiber blend enriched biscuits in healthy subjects and patients with diabetes mellitus: Acute randomized controlled clinical trial. *Croatian Medical Journal*, **49**: 772-782.
- Jimoh, K.O., Olurin, T.O. et Aina, J.O., 2009.** Effect of drying methods on the rheological characteristics and colour of yam flours. *African Journal of Biotechnology*, **8(10)**: 2325-2328.
- Jin, Y., Cui, X., Singh, U.P., Chumanevich, A.A., Harmon, B., Cavicchia, P., Hofseth, A.B., Kotakadi, V., Stroud, B., Volate, S.R., Hurley, T.G., Hebert, J.R. et Hofseth, L.J., 2010.** Systemic inflammatory load in humans is suppressed by consumption of two formulations of dried, encapsulated juice concentrate. *Molecular Nutrition et Food Research*, **54**: 1-9.
- Jones, S.T., Aryana, K.J. et Losso, J.N., 2005.** Storage stability of lutein during ripening of cheddar cheese. *Journal of Dairy Sciences*, **88**: 1661-1670.
- Kadri, N., Khettal, B., Aid, Y., Kherfellah, S., Sobhi, W. et Barragan-Montero, V., 2015.** Some physicochemical characteristics of pinus (*Pinus halepensis* Mill., *Pinus pinea* L., *Pinus pinaster* and *Pinus canariensis*) seeds from North Algeria, their lipid profiles and volatile contents. *Food Chemistry*, **188**: 184-192.
- Kalinova, J. et Dadakova, E., 2009.** Rutin and total quercetin content in amaranth (*Amaranthus* spp.). *Plant Foods for Human Nutrition*, 2009, **64(1)**: 68-74.
- Karioti, A., Bilia, A.R. et Skaltsa, H., 2010.** *Quercus ilex* L.: A rich source of

polyacylated flavonoid glucosides, *Food Chemistry*, **123**:131-142.

Kataoka, S., 2005. Functional effects of Japanese style fermented soy sauce (*shoyu*) and its compounds. *Journal of Bioscience and Bioengineering*, **100**: 227-234.

Kawai, K., Hando, K., Thuwapanichayanan, R. et Hagura, Y., 2016. Effect of stepwise baking on the structure, browning, texture, and in vitro starch digestibility of cookie. *LWT - Food Science and Technology*, **66**: 384-389.

Keskin, S.O., Ozturk, S., Sahin, S., Koksel, H. et Sumnu, G., 2005. Halogen lamp–microwave combination baking of cookies. *European Food Research Technology*, **220**: 546-551.

Khapse, A.P., Satwadhar, P.N. et Deshpande, H.W., 2015. Studies on standardization of fig fruit (*Ficus carica* L.) powder enriched cookies and its composition. *Asian Journal of Dairy and Food Research*, **34(1)**: 71-74.

Khatkar, B.S., 2017. Soft wheat products and processes. Thèse de doctorat en Technologie Alimentaire. Université Guru Jambheshwarde Science et Technologie, Hisar - 125 001, 107p.

Khattab, R.Y. et Arntfield, S.D., 2009. Nutritional quality of legume seeds as affected by some physical treatments 2. Antinutritional factors, *LWT - Food Science and Technology*, **42**: 1113-1118.

Khouryieha, H. et Aramouni, F., 2012. Physical and sensory characteristics of cookies prepared with flaxseed flour. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, **92**: 2366-2372.

Kiger, J.L. et Kiger, J.G., 1967. Techniques modernes de la biscuiterie, pâtisserie-boulangerie industrielles et artisanales et des produits de régime. Dunod. Tome 1. Paris. 696 p.

Kinsella, J., 1982. Relationship between structure and functional properties of food proteins. *Food proteins*, **1**: 51-103.

Kinsella, J.E. et Melachouris, N., 1976. Functional properties of proteins in foods: a survey. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, **7(3)**: 219-280.

Kitawaki, R., Nishimura, Y., Takagi, N., Iwasaki, M., Tsuzuki, K. et Fukuda, M., 2009. Effects of lactobacillus fermented soymilk and soy yogurt on hepatic lipid accumulation in rats fed a cholesterol-free diet. *Bioscience, Biotechnology, and Biochemistry*, **73**: 1484-1488.

Klunklin, W., 2018. Development of biscuits using purple rice flour, defatted greenlipped mussel powder and spices. Thèse de doctorat. Université de Lincoln, 186 p.

Korus, J., Witczak, M., Rafal, Z. et Juszcak, L., 2015. The influence of acorn flour on rheological properties of gluten-free dough and physical characteristics of the bread. *European Food Research and Technology*, **240**:1135-1143.

Krishnan, R., Usha, D., Sai Manohar, R. et Malleshi, N.G., 2011. Quality characteristics of biscuits prepared from finger millet seed coat based composite flour. *Food Chemistry*, **129**: 499-506.

Krystyan, M., Gumul, D., Ziobro, R. et Korus, A., 2015. The fortification of biscuits with bee pollen and its effect on physicochemical and antioxidant properties in biscuits. *LWT - Food Science and Technology*, **6**: 640-646.

Ktenioudaki, A. et Gallagher, E., 2012. Recent advances in the development of high-fibre baked products (review). *Trends in Food Science and Technology*, **28**: 4-14.

Kulthe, A.A., Pawar, V.D., Kotecha, P.M., Dhyanu, C.U. et Bansode V.V., 2014. Development of high protein and low calorie cookies. *Journal of Food Sciences and Technology*, **51(1)**: 153-157.

- Laguna, L., Salvador, A., Sanz, T. et Fiszman, S.M., 2011.** Performance of a resistant starch rich ingredient in the baking and eating quality of short-dough biscuits. *LWT-Food Science and Technology*, **44**: 737-746.
- Laguna, L., Varela, P., Salvador, A. et Fiszman, S., 2013.** A new sensory tool to analyse the oral trajectory of biscuits with different fat and fibre contents. *Food Research International*, **51**: 544-553.
- 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**: 622-630.
- Larrea, M.A., Chang, Y.K. et Martinez-Bustos, F., 2005.** Some functional properties of extruded orange pulp and its effect on the quality of cookies. *LWT-Food Science and Technology*, **38**: 213-220.
- Lassoued-Oualdi, N., 2005.** Structure alvéolaire des produits céréaliers de cuisson en lien avec les propriétés rhéologiques et thermiques de la pâte : Effet de la composition. Thèse de doctorat en Sciences Alimentaires. Ecole Nationale Supérieure des Industries Agricoles et Alimentaires « ENSIA ». AgroParisTech, 163 p.
- Lavelli, V., Vantaggi, C., Corey, M. et Kerr, W., 2010.** Formulation of a dry green tea- apple product : Study on antioxidant and color stability. *Journal of Food Sciences*, **75(2)**: C184-C190.
- Li, S., Zhou, Y., Liu, M., Zhang, Y. et Cao, S., 2015.** Nutrient composition and starch characteristics of *Quercus glandulifera* Bl. seeds from China. *Food Chemistry*, **185**: 371-376.
- Loza, A., Quispe, M., Villanueva, J. et Peláez, P.P., 2017.** Development of functional cookies with wheat flour, banana flour (*Musa paradisiaca*), sesame seeds (*Sesamum indicum*) and storage stability. *Scientia Agropecuaria*, **8(4)**: 315-325.
- Lukinac, J., Budžaki, S., Jukić, M., Lučan, M., Ivić, I., Gligora, K. et Komlenić, D.K., 2017.** Kinetic modelling of cookie browning during baking. *Biotechnologica Acta*, **10(2)**: 35-41.
- Ma, Z., Boye, J.I., Simpson, B.K., Prasher, S.O., Monpetit, D. et Malcolmson, L., 2011.** Thermal processing effects on the functional properties and microstructure of lentil, chickpea, and pea flours. *Food Research International*, **44(8)**: 2534-2544.
- Maache-Rezzoug, Z., Bouvier, J.M., Allaf, K. et Patras, C., 1998a.** Effect of principal ingredients on rheological behavior of biscuit dough and on quality of biscuits. *Journal of Food Engineering*, **35**: 23-42.
- Maache-Rezzoug, Z., Bouvier, J.M., Allaf, K. et Patras, C., 1998b.** Study of mixing in connection with the rheological properties of biscuit dough and dimensional characteristics of biscuits. *Journal of Food Engineering*, **35(1)**: 43-56.
- Mahgoub, A., Amir, A.K. et Eyad, A.S., 2015.** Nutritional and sensory evaluation of wheat flour biscuits supplemented with lentil flour. *Pakistan Journal of Nutrition*, **14(12)**: 841-848.
- Mahmoud, N.Y., Salem, R.H. et Mater, A.A., 2012.** Nutritional and Biological Assessment of Wheat Biscuits Supplemented by Fenugreek Plant to Improve Diet of Anemic Rats. *Academic Journal of Nutrition*, **1(1)**: 01-09.
- Mamat, H. et Hill, S.E., 2014.** Effect of fat types on the structural and textural properties of dough and semi-sweet biscuit. *Journal of Food Science and Technology*, **51(9)**: 1998-2005.
- Mamat, H. et Hill, S.E., 2018. Mini Review :** Structural and functional properties of major ingredients of biscuit. *International Food Research Journal*, **25(2)**: 462-471.
- Manley, D., 1998a.** Biscuit, Cookie, and Cracker Manufacturing - Manual 3 : Biscuit dough piece forming. Woodhead Publishing Limited. Cambridge, 93 p.

- Manley, D., 1998b.** Biscuit, Cookie, and Cracker Manufacturing - Manual 4 : Baking and cooling of biscuits. Woodhead Publishing Limited. Cambridge, 61 p.
- Manley, D., 2000.** Setting the scene: History and position of biscuits. In: Technology of biscuits, crackers and cookies. 3^{ème} édition. Woodhead Publishing Limited, p 1- 8. 528 p.
- Manley, D., 2001.** Biscuit, cracker and cookie recipes for the food industry. Woodhead Publishing Limited. Cambridge, 200 p.
- Manohar, S.R. et Rao, H.P., 1997.** Effect of mixing period and additives on the rheological characteristics of dough and quality of biscuits. *Journal of Cereal Science*, **25**: 197-206.
- Manohar, S.R. et Rao, H.P., 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**: 807-813.
- Martini, S., Thurgood, J.E., Brotherson, C., Ward, R. et McMahon, D.J., 2009.** Fortification of reduced-fat cheddar cheese with n-3 fatty acids: effect on off-flavor generation. *Journal of Dairy Sciences*, **92**: 876-1884.
- Mateos-Aparicio, I., Redondo-Cuenca, A. et Villanueva-Suárez, M.J., 2010.** Isolation and characterisation of cell wall polysaccharides from legume by-products: okara (*soymilk residue*), pea pod and broad bean pod. *Food Chemistry*, **122**: 339-345.
- Matos, M.E. et Rosell, C.M., 2012.** Quality indicators of rice-based gluten-free bread- like products: relationships between dough rheology and quality characteristics. *Food Bioprocess Technology*, **6**: 2331-2341.
- Mesías, M., Holgado, F., Marquez-Ruiz, G. et Morales, F.J., 2016.** Risk/benefit considerations of a new formulation of wheat-based biscuit supplemented with different amounts of chia flour. *LWT - Food Science and Technology*, **73**: 528-535.
- Mezian, S., 2011.** Influence du procédé de congélation sur les levures et les propriétés techno-fonctionnelles des pâtes sucrées (type Kougelhopf). Thèse de doctorat en Procédés Biotechnologiques et Alimentaires. École Nationale Supérieure d'Agronomie et des Industries Alimentaires. Université de Nancy, 123p.
- Mghazli, S., Ouhammou, M., Hidar, N., Lahnine, L., Idlimam, A. et Mahrouz, M., 2017.** Drying characteristics and kinetics solar drying of Moroccan rosemary leaves. *Renewable Energy*, **108**: 303-310.
- Mimouni, Y., 2015.** Développement de produits diététiques hypoglycémisants à base de dattes molles variété «Ghars», la plus répandue dans la cuvette de Ouargla. Thèse de doctorat en Sciences Biologiques. Université Kasdi Merbah-Ouargla, 142 p.
- Mogol, B.A. et Gökmen, V., 2014.** Mitigation of acrylamide and hydroxymethylfurfural in biscuits using a combined partial conventional baking and vacuum post-baking process: Preliminary study at the lab scale. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, **26**: 265-270.
- Mohan, P., Mukherjee, I. et Jain, S., 2018.** Study on the physico-chemical and sensory characteristics of cookies made using avocado as a fat (Butter) substitute. *International Journal of Food Science and Nutrition*, **3(1)**: 68-72.
- Mohtadji-Lamballais, C., 1989.** Les aliments. Edition Maloine, Paris, 203 p.
- Molavi, H., Keramat, J. et Raisee, B., 2015.** Evaluation of the cake quality made from acorn-wheat flour blends as a functional food. *Journal of Food Biosciences and Technology*, **5**: 53-60.
- Mousavi, K.A., Yadolah, F. et Anderson, S.S.A., 2018.** Impact of unit operations during processing of cereal-based products on the levels of deoxynivalenol, total aflatoxin, ochratoxin A, and zearalenone: A systematic review and meta-analysis. *Food Chemistry*, **268**: 611-624.

- Msaddak, L., Siala, R., Fakhfakh, N., Ayadi, M.A., Nasri, M. et Zouari, N., 2015.** Cladodes from prickly pear as a functional ingredient: effect on fat retention, oxidative stability, nutritional and sensory properties of cookies. *International Journal of Food Sciences and Nutrition*, **66(8)**: 1-7.
- Mudasir, A.B. et Ahsan, H., 2015.** Physico-chemical characteristics of cookies prepared with tomato pomace powder. *Journal of Food Processing and Technology*, **7(1)**: 1-4.
- Mudgil, D., Barak, S. et Khatkar, B.S., 2017.** Cookie texture, spread ratio and sensory acceptability of cookies as a function of soluble dietary fiber, baking time and different water levels. *LWT - Food Science and Technology*, **80**: 537-542.
- Mukhtar, A., Wani, A.T., Wani, S.M., Masoodi, F.A. et Gani, A., 2016.** Incorporation of carrot pomace powder in wheat flour: effect on flour, dough and cookie characteristics. *Journal of Food Sciences and Technology*, **53(10)**: 3715-3724.
- Nagatsuka, N., Harada, K., Ando, M. et Nagao, K., 2006.** Measurement of the radical scavenging activity of chicken jelly soup, a part of the medicated diet Yazuken made from gelatin gel food Nikogori, using chemiluminescence and electron spin resonance methods. *International Journal of Molecular Medicine*, **18**: 107-111.
- Nanditha, B. et Prabhasankar, P., 2009.** Antioxidants in bakery products: a review. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, **49**:1-27.
- Ndangui, C.B., 2015.** Production et caractérisation de farine de patate douce (*Ipomoeabatatas.Lam*) : optimisation de la technologie de panification. Thèse de doctorat en Co-tutelle en Procédés et Biotechnologiques Alimentaires. Université de Lorraine et Université Marien Ngouabi. 134 p.
- Nergiz, C. et Domnez, I., 2004.** Chemical composition and nutritive value of *Pinus pinea* L. seeds. *Food Chemistry*, **86**: 365-368.
- Nhouchi, Z., Botosoa, E.P. et Karoui, R., 2018.** Critical assessment of formulation, processing and storage conditions on the quality of alveolar baked products determined by different analytical techniques: A review. *Trends in Food Science et Technology*, **81**: 159-171.
- Noah Abimbola, A., 2017.** Production, microbial and sensory qualities of biscuits produced from wheat-coconut-almond flour blend. *International Journal of Food Science and Nutrition*, **2(6)**:135-138.
- Noor Aziah, A.A., Mohamad Noor, A.Y. et Ho, L.H., 2012.** Physicochemical and organoleptic properties of cookies incorporated with legume flour. *International Food Research Journal*, **19(4)**: 1539-1543.
- Ocheme, O.B., Adedeji, O.E., Lawal, G. et Zakari, U.M., 2015.** Effect of germination on functional properties and degree of starch gelatinization of sorghum flour. *Journal of Food Research*, **4(2)**: 159-165.
- Ogunjobi, M.A.K. et Ogunwola, S.O., 2010.** Physicochemical and sensory properties of cassava flour biscuits supplemented with cashew apple powder. *Journal of Food Technology*, **8(1)**: 24-29.
- Ojokoh, A. et Bello, B., 2014.** Effect of fermentation on nutrient and anti-nutrient composition of millet (*Pennisetum glaucum*) and soyabean (*Glycine max*) blend flours. *Journal of Life Sciences*, **8(8)**: 668-675.
- Ojinnaka, M.C. et Agubolum, F.U., 2013.** Nutritional and sensory properties of cashew nut-wheat based cookies. *American Journal of Food and Nutrition*, **3(3)**: 127-134.
- Okpala, L.C. et Okoli, E.C., 2012.** Development of cookies made with cocoyam, fermented sorghum and germinated pigeon pea flour blends using response surface methodology. *Journal of Food Sciences and Technology*, **51(10)**: 2671-2677.

- Okpala, L.C. et Okoli, E.C., 2013.** Optimization of composite flours biscuits by mixture response surface methodology. *Food Science and Technology International*, **19(4)**: 343-350.
- Okpala, L., Okoli, E. et Udensi, E., 2013.** Physico-chemical and sensory properties of cookies made from blends of germinated pigeon pea, fermented sorghum, and cocoyam flours. *Food Science and Nutrition*, **1(1)**: 8-14.
- Olaitan, N.I., Eke, M.O. et Agudu, S.S., 2017.** Effect of Watermelon (*Citrullus lantus*) Rind Flour Supplementation on the quality of wheat based cookies. *The International Journal of Engineering and Science*, **6(12)**: 38-44.
- Onacik-Gür, S., Żbikowska, A. et Jaroszewska, A., 2015.** Effect of high-oleic sunflower oil and other pro-health ingredients on physical and sensory properties of biscuits. *CyTA—Journal of Food*, **13(4)**: 621-628.
- ONS, 2011.** Office National de Statistiques, Alger. Premiers résultats de l'enquête nationale sur les dépenses de consommation et le niveau de vie des ménages.
- Oppong, D., Eric, A., Osei, K.S., Badu, E. et Skyi, P., 2015.** Proximate composition and some functional properties of soft wheat flour. *International Journal of Innovative Research in Science, Engineering and Technology*, **4(2)**: 2347-6710.
- Ostermann-Porcel, M.V., Quiroga-Panelo, N., Rinaldoni, A.N. et Campderrós, M.E., 2017.** Incorporation of okara into gluten-free cookies with high quality and nutritional value. *Journal of Food Quality*, **2017**: 1-8.
- Ouazib, M., 2016.** Effet de traitements sur les paramètres nutritionnels et fonctionnels du pois chiche produit localement : impact sur les propriétés rhéologiques, physicochimiques et sensorielles de pain à base de pois chiche. Thèse de doctorat en Science de la Nature et de la Vie. Université A.MIRA-BEJAIA, 114 p.
- Pandey, H. et Awasthi, P., 2015.** Effect of processing techniques on nutritional composition and antioxidant activity of fenugreek (*Trigonella foenum-graecum*) seeds flour. *Journal of Food Science and Technology*, **52(2)**: 1054-1060.
- Parsaei, M., Goli, M. et Abbasi, H., 2018.** Oak flour as a replacement of wheat and corn flour to improve biscuit antioxidant activity. *Food Science and Nutrition*, **6**: 253-258.
- Pasqualone, A., Bianco, A.M. et Michele, P.V., 2013.** Production trials to improve the nutritional quality of biscuits and to enrich them with natural Anthocyanins. *CyTA – Journal of Food*, **11(4)**: 301-308.
- Phatcharee, K., Pitiporn, R. et Manop, S., 2014.** Optimization of hydroxypropylmethylcellulose, yeast β -glucan, and whey protein levels based on physical properties of gluten free rice bread using response surface methodology. *Food Science and Technology*, **57** : 738-748.
- Peng, X., Ma, J., Cheng, K.W., Jiang, Y., Chen, F. et Wang, M., 2010.** The effects of grape seed extract fortification on the antioxidant activity and quality attributes of bread. *Food Chemistry*, **119**: 49-53.
- Petisca, C., Henriques, A.R., Pérez-Palacios, T., Pinho, O. et Ferreira, I.M.P.L.V.O., 2013.** Study of hydroxymethylfurfural and furfural formation in cakes during baking in different ovens, using a validated multiple-stage extraction-based analytical method. *Food Chemistry*, **141**: 3349-3356.
- Piteira, M.F., Maia, J.M., Raymundo, A. et Sousa, I., 2006.** Extensional flow behaviour of natural fibre-filled dough and its relationship with structure and properties. *Journal of Non-Newtonian Fluid Mechanics*, **137**: 72-80.
- Popovic, B.M., Stajner, D., Zdero, R., Orlović, S. et Galić, Z., 2013.** Antioxidant characterization of oak extracts combining spectrophotometric assays and chemometrics. *The Scientific World Journal*, **2013**: 1-8.

- Poutanen, K., Sozer, N. et Della, V.G., 2014.** How can technology help to deliver more of grain in cereal foods for a healthy diet? (Review). *Journal of Cereal Science*, **59**: 327-336.
- Prithwa, P. et Sauryya, B., 2015.** Antioxidant profile and sensory evaluation of cookies fortified with juice and peel powder of fresh Pomegranate (*Punica granatum*). *International Journal of Agricultural and Food Science*, **5(3)**: 85-91.
- Purlis, E., 2010.** Browning development in bakery products – A review. *Journal of Food Engineering*, **99(3)**: 239-249.
- Purlis, E. et Salvadori, V.O., 2009.** Modelling the browning of bread during baking. *Food Research International*, **42**: 865-870.
- Pyler, E.J., 1988.** Baking Science and Technology, volumes I and II, 3^{ème} édition. Sosland Publishing Co., Meriam, KS, 772 p.
- Qavami, N., Naghdi, B.H., Labbafi, M.R. et Mehrafarin, A., 2013.** A review on pharmacological, cultivation and biotechnology aspects of milk thistle (*Silybum marianum* (L.) Gaertn.). *Journal of Medicinal Plants*, **12(47)**: 19-37.
- Rababah, T.M., Al-Mahasneh, M.A. et Ereifej, K.I., 2006.** Effect of chickpea, broad bean or isolated soy protein additions on the physicochemical and sensory properties of biscuits. *Journal of Food Sciences*, **71**: S438-S442.
- Raffo, A., Pasqualone, A., Sinesio, F., Paoletti, F., Quaglia, G. et Simeone, R., 2003.** Influence of durum wheat cultivar on the sensory profile and staling rate of Altamura bread. *European Food Research and Technology*, **218**: 49-55.
- Ragaee, S., Abdel-Aal, E.S.M. et Noaman, M., 2006.** Antioxidant activity and nutrient composition of selected cereals for food use. *Food Chemistry*, **98**: 32-38.
- Rajiv, J., Lobo, S., Lakshmi, A.J. et Rao, G.V., 2012.** Influence of green gram flour (*Phaseolus aureus*) on the rheology, microstructure and quality of cookies. *Journal of Texture Studies*, **43**: 350-360.
- Rakic, S., Povrenovic, D., Tesevic, V., Simic, M. et Maletic, R., 2006.** Oak acorn, polyphenols and antioxidant activity in functional food. *Journal of Food Engineering*, **74**: 416-423.
- Reddy, V., Urooj, A. et Kumar, A., 2005.** Evaluation of antioxidant activity of some plant extracts and their applications in biscuits. *Food Chemistry*, **90**: 317-321.
- Ribeiro, T.C., Abreu, J.P., Freitas, M.C.J., Pumar, M. et Teodoro, A.J., 2015.** Substitution of wheat flour with cauliflower flour in bakery products: effects on chemical, physical, antioxidant properties and sensory analyses. *International Food Research Journal*, **22(2)**: 532-538.
- Rizzello, C.G., Coda, R., Mazzacane, F., Minervini, D. et Gobbetti, M., 2012.** Micronized by-products from debranned durum wheat and sourdough fermentation enhanced the nutritional, textural and sensory features of bread. *Food Research International*, **46**: 304-313.
- Rizzello, C.G., Nionelli, L., Coda, R., Di, C.R. et Gobbetti, M., 2010.** Use of sourdough fermented wheat germ for enhancing the nutritional, texture and sensory characteristics of the white bread. *European Food Research and Technology*, **230**: 645-654.
- Roccia, P., Moiraghi, M., Ribotta, P., Perez, G., Rubiolo, O. et Leon, A., 2006.** Use of solvent retention capacity profile to predict the quality of triticale flours. *Cereal Chemistry*, **83(3)**: 243-249.
- Rogers, D.E., Malouf, R.B., Langemeie, G.J.A. et Ranhotra, G.S., 1993.** Stability and nutrient contribution of β -carotene added to selected bakery products. *Cereal Chemistry*, **70**: 558-561.

Saadoudi, M., 2019. Caractérisation biochimique, conservation et essais d'élaboration des produits alimentaires à base du fruit de *Zizyphus lotus* L. Thèse de doctorat en sciences. Université Hadj Lakhdar Batna 01 (UHB1), Algérie, 140 p.

Sadaf, J., Bibi, A., Raza, S., Waseem, K., Jilani, M.S. et Ullah, G., 2013. Peanut butter incorporation as substitute for shortening in biscuits: Composition and acceptability studies. *International Food Research Journal*, **20(5)**: 3243-3247.

Sadal, K.B., Dabhade, S.B. et Bornare, D.T., 2018. Development and quality evaluation of pineapple pomace powder fortified biscuits. *International Journal of Chemical Studies*, **6(4)**: 1019-1023.

Saha, S., Gupta, A., Singh, S.R.K., Bharti, N., Singh, K.P., Mahajan, V. et Gupta, H.S., 2011. Compositional and varietal influence of finger millet flour on rheological properties of dough and quality of biscuit. *LWT - Food Science Technology*, **44**: 616-621.

Sakin, M., Kaymak-Ertekin, F. et Ilicali, C., 2007. Modeling the moisture transfer during baking of white cake. *Journal of Food Engineering*, **80**: 822-831.

Sakin-Yilmazer, M., Kemerli, T., Isleroglu, H., Ozdestan, O., Guven, G., Uren, A. et Kaymak-Ertekin, F., 2013. Baking kinetics of muffins in convection and steam assisted hybrid ovens (baking kinetics of muffin. . .). *Journal of Food Engineering*, **119**: 483-489.

Sanchez-Pardo, M.E., Ortiz-Moreno, A., Mora-Escobedo, R., Chanona-Pérez, J.J. et Necochea-Mondragon, H., 2008. Comparison of crumb microstructure from pound cakes baked in a microwave or conventional oven. *LWT*, **41**: 620-627.

Sangronis, E. et Machado, C.J., 2007. Influence of germination on the nutritional quality of *Phaseolus vulgaris* and *Cajanus cajan*. *LWT*, **40**: 116-120.

Secchi, N., Stara, G., Anedda, R., Campus, M., Piga, A., Roggio, T. et Catzeddu, P., 2011. Effectiveness of sweet ovine whey powder in increasing the shelf life of Amaretti cookies. *LWT - Food Science and Technology*, **44**: 1073-1078.

Serrem, C.A., 2010. Development of soy fortified sorghum and bread wheat biscuits as a supplementary food to combat protein energy malnutrition in young children. Thèse de doctorat en Sciences des Aliments. Université de Pretoria, Afrique de Sude, 193 p.

Serrem, C.A., de Kock, H.L. et Taylor, J.R.N., 2011. Nutritional quality, sensory quality and consumer acceptability of sorghum and bread wheat biscuits fortified with defatted soy flour. *International Journal of Food Science and Technology*, **46**: 74-83.

Shahat, M.S., Hussein, A.S. et Hady, E.A., 2016. Preparation of bread supplemented with milk thistle flour and its effect on acute hepatic damage caused by carbon tetrachloride in rats. *Middle East Journal of Applied Sciences*, **6(3)**: 531-540.

Shahbazizadeh, S., Khosravi-Darani, K. et Sohrabvandi, S., 2015. Fortification of Iranian traditional cookies with *Spirulina platensis*. *Annual Research and Review in Biology*, **7(3)**: 144-154.

Shankar, R.B., Shukla, S., Kishor, K., Singh, H. et Dey, S., 2017. Quality characteristics of biscuits produced from composite flour of wheat, maize and sesame seed. *Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry*, **6(4)**: 2011-2015.

Sharif, K., Butt, M.S., Anjum, F.M. et Nasir, M., 2005. Improved quality of baked products by rice bran oil. *Internet J. Food Safety*, **5**: 1-8.

Sharma, A., 2013. Tea catechins: their stability and roles in the biscuit making process and effects on biscuit quality. Thèse de doctorat en Science et Technologie Alimentaire. Université Nationale de Singapour, 226 p.

Sharma, A. et Zhou, W., 2011. A stability study of green tea catechins during the biscuit making process. *Food Chemistry*, **126**: 568-573.

Sharma, P. et Gujral, H.S., 2014. Cookie making behavior of wheat-barley flour blends and effects on antioxidant properties. *LWT - Food Science and Technology*, **55**(1): 301-307.

Shrestha, A.K. et Noomhorm, A., 2002. Comparison of physicochemical properties of biscuits supplemented with soy and kinema flours. *International Journal of Food Science and Technology*, **37**: 361-368.

Simurina, O.D., Ikonic, B.B., Jevtic-Mucibabic, R.C., Belovic, M.M., Koprivica, G.B. et Misljenovic, N.M., 2012. Application of response surface methodology in the development of specialty bread with sugar beet molasses, flax seed and vital wheat gluten. *Food and Feed Research*, **39**: 11-21.

Singh, G.D., Riar, C.S. et Saini, C., 2011. Indian water chestnut flour- method optimization for preparation, its physicochemical, morphological, pasting properties and its potential in cookies preparation. *LWT - Food Science and Technology*, **44**: 665-672.

Singh, M. et Mohamed, A., 2005. Influence of gluten–soy protein blends on the quality of reduced carbohydrates cookies. *LWT*, **40**: 353-360.

Siro, I., Kapolna, E., Kapolna, B. et Lugasi, A., 2008. Functional food. Product development, marketing and consumer acceptance-A review. *Appetite*, **51**: 456-467.

Songnan, L., Yibin, Z., Mei, L., Yang, Z. et Shengnan, C., 2015. Nutrient composition and starch characteristics of *Quercus glandulifera* Bl. seeds from China. *Food Chemistry*, **185**: 371-376.

Soronja-simovic, D., Pajin, B. et Subaric, D., 2017. Quality, sensory and nutritional characteristics of cookies fortified with chestnut flour. *Journal of Food Processing and Preservation*, **41**: 28-8.

Sozer, N., Cicerelli, L., Heiniö, R.L. et Poutanen, K., 2014. Effect of wheat bran addition on in vitro starch digestibility, physicochemical and sensory properties of biscuits. *Journal of Cereal Science*, **60**: 105-113.

Spence, J.T., 2006. Challenges related to the composition of functional foods. *Journal of Food Composition and Analysis*, **19**: S4-S6.

Sreerama, Y.N., Sashikala, V.B., Pratapa, V.M. et Singh, V., 2012. Nutrients and antinutrients in cowpea and horse gram flours in comparison to chickpea flour: Evaluation of their flour functionality. *Food chemistry*, **131**(2): 462-468.

Sudha, M.L., Vetrmani, R., Leelavathi, K., 2007. Influence of fibre from different cereals on the rheological characteristics of wheat flour dough and on biscuit quality. *Food Chemistry*, **100**: 1365-1370.

Tazart, K., 2015. Formulation et qualité nutritionnelle de pâtes alimentaires enrichies en légumineuses. Thèse de doctorat en Science de la Nature et de la Vie. Université A.Mira-Béjaia. 148 p.

Tejerina, D., Garcia-Torres, S., Cabeza de Vaca, M., Vazquez, F.M. et Cava, R., 2011. Acorns (*Quercus rotundifolia* Lam.) and grass as natural sources of antioxidants and fatty acids in the “montanera” feeding of Iberian pig: Intra- and inter-annual variations. *Food Chemistry*, **124**: 997-1004.

Teshome, E., Tola, Y.B. et Mohammed, A., 2017. Optimization of baking temperature, time and thickness for production of gluten free biscuits from Keyetena Teff (*Eragrostis tef*) variety. *Journal of Food Processing and Technology*, **8**(5): 2-8.

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 OISEL W. Guide pratique d'analyse dans les industries des céréales. Lavoisier. Tec. et doc. Paris, 819 p.

- Tyagi, S.K., Manikantan, M.R., Oberoi, H.S. et Gurlen, K., 2007.** Effect of mustard flour incorporation on nutritional, textural and organoleptic characteristics of biscuits. *Journal of Food Engineering*, **80**: 1043-1050.
- Umesha, S.S.R., Sai Manohar, A.R., Indiramma, S., Akshitha, K. et Akhilender, N., 2014.** Enrichment of biscuits with microencapsulated omega-3 fatty acid (Alpha-linolenic acid) rich Garden cress (*Lepidium sativum*) seed oil: Physical, sensory and storage quality characteristics of biscuits. *LWT - Food Science and Technology*, **62(1)**: 654-661.
- Uysal, H., Bilgicli, N., Elgun, A., Ibanoglu, S., Herken, E.N., et Demir, M.K., 2007.** Effect of dietary fibre and xylanase enzyme addition on the selected properties of wire-cut cookies. *Journal of Food Engineering*, **78**: 1074-1078.
- Utpal, K.P., Linkon, K.Md., Murtaja, R., Al-Amin, Md.F. et Jahangir, A.Md., 2015.** Development and quality evaluation of mushroom (*pleurotussajor-caju*) enriched biscuits. *Emirates Journal of Food and Agriculture*, **27(7)**: 542-547.
- Van Boekel, M.A.J.S., 2006.** Formation of flavour compounds in the Maillard reaction. *Biotechnology Advances*, **24(2)** : 230-233.
- Van Stuijvenberg, M.E., Dhansay, M.A., Lombard, C.J., Faber, M. et Benadé, A.J., 2001.** The effect of a biscuit with red palm oil as a source of beta-carotene on the vitamin A status of primary school children: a comparison with beta-carotene from a synthetic source in a randomized controlled trial. *European Journal of Clinical Nutrition*, **55**: 657-662.
- Van, T.N. et Quynh, A.N.V., 2018.** Preparation and improved quality production of flour and the made biscuits from purple sweet potato. *The Journal of Food and Nutrition*, **4(102)**:1-14.
- Vinha, A.F., Barreira, J.C.M., Costa, A.S.G., Oliveira, M. et Beatriz, P.P., 2016.** A New Age for *Quercus* spp. fruits : review on nutritional and phytochemical composition and related biological activities of acorns. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, **15**:947-981.
- Vioque, J., Alaiz, M. et Giron-Calle, J., 2012.** Nutritional and functional properties of Vicia faba protein isolates and related fractions. *Food chemistry*, **132(1)**: 67-72.
- Vitali, D., Vedrinaro, I. et Sebecic, B., 2009.** Effects of incorporation of integral raw materials and dietary fibre on the selected nutritional and functional properties of biscuits. *Food Chemistry*, **114(4)**:1462-1469.
- Vujic, L., Cepo, D.V. et Dragojevic, I.V., 2015.** Impact of dietetic tea biscuit formulation on starch digestibility and selected nutritional and sensory characteristics. *LWT - Food Science and Technology*, **62**: 647-653.
- Vujic, L., Cepo, D.V., Sebecic, B. et Dragojevic, V., 2014.** Effects of pseudocereals, legumes and inulin addition on selected nutritional properties and glycemic index of whole grain wheat-based biscuits. *Journal of Food Nutrition Research*, **53**: 152-161.
- Wang, R. et Zhou, W., 2004.** Stability of tea catechins in the breadmaking process. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, **52**: 8224-8229.
- Wang, S., Opassathavorn, A. et Zhu, F., 2015.** Influence of quinoa flour on quality characteristics of cookie, bread and chinese steamed bread. *Journal of Texture Studies*, **46**: 281-292.
- Watts, B-M., Ylimaki, G-L., Jeffery, L-E., Elias, L-G., 1991.** Méthodes de base pour l'évaluation sensorielle des aliments. Centre de recherches pour le développement International d'Ottawa. Canada, 159p.
- Whiteley, P.R., 1971.** Biscuit manufacture: Fundamentals of in-line production. Applied Science Publishers Ltd. London, 373 p.

- Yadav, D., Thakur, N., Sunooj, K., 2012.** Effect of Partially De-Oiled Peanut Meal Flour (DPMF) on the Nutritional, Textural, Organoleptic and Physico Chemical Properties of Biscuits. *Food and Nutrition Sciences* ,**3**: 471-476.
- Yamsaengsung, R., Berghofer, E. et Schoenlechner, R., 2012.** Physical properties and sensory acceptability of cookies made from chickpea addition to white wheat or whole wheat flour compared to gluten-free amaranth or buckwheat flour. *International Journal of Food Science and Technology*, **47**: 2221-2227.
- Youssef, H.M.K.E. et Mousa, R.M.A., 2012.** Nutritional assessment of wheat biscuits and fortified wheat biscuits with citrus peels powders. *Food and Public Health*, **2**(1): 55-60.
- Yusuf, A.A., Ayedun, H. et Sanni, L.O., 2008.** Chemical composition and functional properties of raw and roasted Nigerian benniseed (*Sesamum indicum*) and bambara groundnut (*Vigna subterranean*). *Food Chemistry*, **111**: 27-282.
- Zhai, J., Day, L., Aguilar, M.I. et Wooster, T., 2013.** Protein folding at emulsion oil/water interfaces. *Current opinion in colloid and interface science*, **18**(4): 257-271.
- Zhou, W., 2014.** Bakery Products Science and Technology. 2^{ème} édition. Wiley blackwell, 776 p.
- Zidani, S., 2019.** Influence des techniques de séchage sur les propriétés physicochimiques et fonctionnelles de la pomme locale. Thèse de doctorat en sciences. Université Hadj Lakhdar Batna 01 (UHB1), Algérie, 134 p.
- Zouari, R., Besbes, S., Ellouze-Chaabouni, S. et Ghribi-Aydi, D., 2016.** Cookies from composite wheat–sesame peels flours: dough quality and effect of *Bacillus subtilis* SPB1 biosurfactant addition. *Food Chemistry*, **194**: 758-769.
- Zucco, F., Borsuk, Y. et Arntfield, S.D., 2011.** Physical and nutritional evaluation of wheat cookies supplemented with pulse flours of different particle sizes. *LWT - Food Science and Technology*, **44**: 2070-2076.

Annexe 1

Dosage des polyphénoles

- **Préparation de la gamme d'étalonnage**

Les concentrations des polyphénols sont déduites à partir des gammes d'étalonnage établies avec l'acide gallique (0-50 µg/ml) et sont exprimées en microgramme d'équivalent d'acide gallique par milligramme d'extrait (µg EAG/mg).

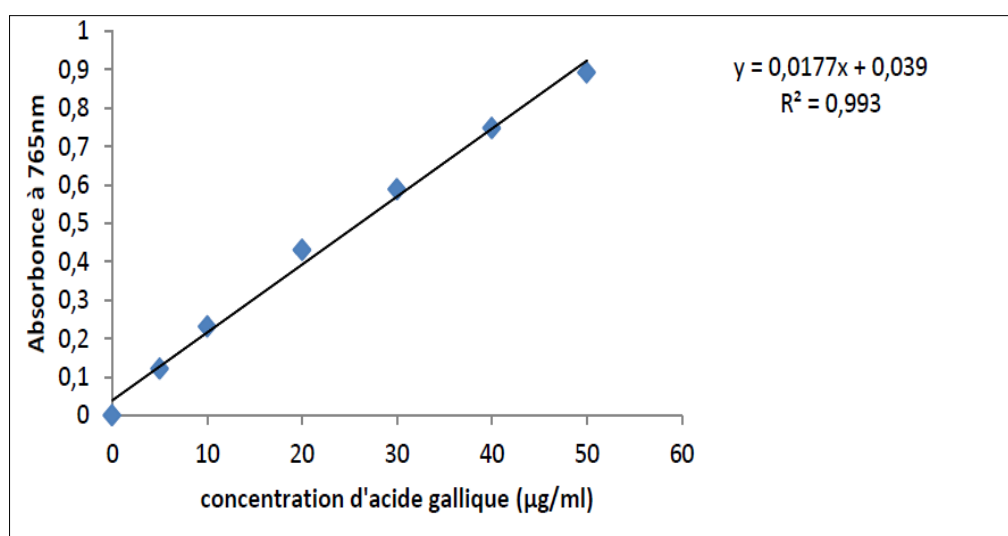


Figure 1 : Courbe d'étalonnage de l'acide gallique pour le dosage des polyphénols.

Tableau 1 : Gamme étalon des polyphénols.

Solution d'acide gallique (µl)	0	20	40	80	120	160	200
Méthanol (µl)	200	180	160	20	80	40	0
Concentration (µl/ml)	0	5	10	20	30	40	50
Densité optique	0	0,192	0,241	0,43	0,605	0,748	0,892

Annexe 2

Fiche de dégustation

Dégustateur n° :

Test de classement de 13 formulations de biscuits

- 13 échantillons de biscuits vous sont présentés. Vous devez les classer selon l'intensité croissante de la valeur « agréable ». Les échantillons portent les numéros : 001, 002, 003, 004, 005, 006, 007, 008, 009, 010, 011, 012 et 013.
- **Veillez indiquer votre classement ?**

Peu agréable \longrightarrow Très agréable

--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--

Test hédonique analytique de 16 formulations de biscuits

- Veuillez examiner et goûter chaque échantillon de biscuits. Indiquez dans quelle mesure vous avez aimé ou pas aimé chaque échantillon en cochant la mention appropriée. Les codes attribués aux échantillons sont : 001, 002, 003, 004, 005, 006, 007, 008, 009, 010, 011, 012 et 013.

1. Apparence

1	2	3	4	5	6	7	8	9
---	---	---	---	---	---	---	---	---

N'aimer pas extrêmement Aimer extrêmement

2. Couleur

1	2	3	4	5	6	7	8	9
---	---	---	---	---	---	---	---	---

N'aimer pas extrêmement Aimer extrêmement

- Caractéristique de la couleur

1	2	3	4	5	6	7	8	9
---	---	---	---	---	---	---	---	---

Blanc

1	2	3	4	5	6	7	8	9
---	---	---	---	---	---	---	---	---

Sombre

3. Gout

1	2	3	4	5	6	7	8	9
---	---	---	---	---	---	---	---	---

N'aimer pas extrêmement Aimer extrêmement

- Caractéristique de gout

1	2	3	4	5	6	7	8	9
---	---	---	---	---	---	---	---	---

Sucré

- Gout perceptible

1	2	3	4	5	6	7	8	9
---	---	---	---	---	---	---	---	---

Chêne

1	2	3	4	5	6	7	8	9
---	---	---	---	---	---	---	---	---

Graines

1	2	3	4	5	6	7	8	9
---	---	---	---	---	---	---	---	---

Pomme

4. Odeur

1	2	3	4	5	6	7	8	9
---	---	---	---	---	---	---	---	---

N'aimer pas extrêmement Aimer extrêmement

5. Texture

1	2	3	4	5	6	7	8	9
---	---	---	---	---	---	---	---	---

N'aimer pas extrêmement Aimer extrêmement

- Caractéristique de la texture

1	2	3	4	5	6	7	8	9
---	---	---	---	---	---	---	---	---

Dure

1	2	3	4	5	6	7	8	9
---	---	---	---	---	---	---	---	---

Friable

Merci

Signature

Annexe 3

Tableau 3 : Coordonnées factorielles des charges des propriétés des biscuits enrichis en chardon marie, basées sur les corrélations.

Variable	Factor 1	Factor 2	Factor 3	Factor 4	Factor 5	Factor 6	Factor 7	Factor 8	Factor 9	Fact.10	Fact.11
H (%)	-0,981618	-0,053177	-0,142930	-0,027482	0,104189	-0,030819	0,024689	0,000002	0,000020	-0,000000	0,000001
MS (%)	0,981618	0,053177	0,142930	0,027482	-0,104189	0,030819	-0,024689	-0,000002	-0,000020	0,000000	-0,000001
C (%)	0,826404	-0,546925	-0,006191	-0,130800	0,000537	0,027407	-0,005633	-0,000067	-0,000001	0,000001	0,000001
MO (%)	-0,826404	0,546925	0,006191	0,130800	-0,000537	-0,027407	0,005633	0,000067	0,000001	-0,000001	-0,000001
pH	-0,987411	0,140042	-0,031799	-0,044811	-0,026899	-0,004556	-0,040561	0,000188	0,000076	-0,000002	0,000004
A (%)	-0,990111	0,116362	0,036975	0,067317	-0,003007	-0,014314	0,005186	0,000033	-0,000002	0,000003	0,000003
G (%)	-0,992458	-0,104195	0,063758	0,002162	-0,009913	-0,001523	-0,000899	-0,000049	-0,000001	0,000005	0,000005
P (%)	0,655710	-0,729484	-0,051521	0,185085	-0,007209	-0,026952	-0,014444	-0,000028	0,000020	0,000002	0,000002
F (g/100g)	0,986162	-0,146882	-0,054442	0,047608	-0,009436	0,022078	-0,010201	0,000122	0,000003	-0,000004	-0,000004
Pol (mg EAG /100 g)	0,977245	-0,198208	-0,043180	0,039207	0,013110	-0,038932	0,024833	0,000161	-0,000012	-0,000001	-0,000002
L*	-0,992786	-0,105423	0,056668	0,000201	-0,004042	-0,004536	0,003778	-0,000021	-0,000003	0,000005	0,000005
c*	0,987124	0,142254	-0,071763	0,000316	-0,002445	0,013871	-0,001369	0,000249	0,000005	0,000039	0,000009
h°	0,990074	0,123949	-0,064980	0,002127	0,006110	0,010180	-0,004750	0,000038	0,000003	-0,000014	-0,000008
DE	0,991434	0,113723	-0,062717	0,003202	0,009658	0,006685	-0,006652	-0,000057	0,000004	0,000005	-0,000002
IB	0,983033	0,168029	-0,069653	-0,006432	0,001361	0,021570	-0,007295	0,000116	0,000005	-0,000009	-0,000007
IBL	-0,989339	-0,130062	0,065232	0,002244	0,001148	-0,004248	0,003482	-0,000147	-0,000009	-0,000039	-0,000009
m (g)	-0,994640	-0,090675	0,048331	0,000947	-0,008306	0,006651	-0,004300	-0,000012	0,000003	0,000004	0,000005
PP	-0,994640	-0,090675	0,048331	0,000947	-0,008306	0,006651	-0,004300	-0,000012	0,000003	0,000004	0,000005
D (mm)	0,987693	0,119718	-0,069096	0,017988	-0,047359	0,047956	0,022106	0,001227	-0,000015	-0,000007	-0,000009
E (mm)	0,985425	0,009871	0,153807	0,019425	0,045223	0,040928	0,032927	-0,001222	-0,000132	0,000007	-0,000004
RP	0,993599	0,044303	0,082015	0,021568	0,006239	0,049624	0,033244	-0,000642	0,000247	-0,000006	0,000014
V (cm3)	-0,967836	-0,004991	-0,213294	-0,009338	-0,130606	0,009142	0,023288	-0,001721	-0,000037	-0,000004	0,000008
d (g/cm3)	-0,994786	-0,098124	0,012232	-0,004808	-0,023078	-0,005276	0,006316	-0,000543	0,000093	0,000021	-0,000047
Od	-0,988320	-0,130629	-0,062947	0,005410	-0,011789	0,043262	0,012473	0,001017	0,000013	-0,000000	0,000000
App	-0,992494	-0,107968	0,019446	0,001036	-0,031279	0,030192	0,032071	0,001039	-0,000019	0,000003	0,000001
Go	-0,991257	-0,121503	0,026124	0,013785	-0,028924	0,027576	0,013310	0,000686	-0,000006	0,000003	0,000002
Col	-0,994319	-0,091869	0,028541	0,000726	-0,002533	0,043831	0,012116	0,000332	-0,000022	0,000004	0,000002
Txt	-0,981291	0,037356	-0,086568	0,064789	0,078561	0,130321	-0,028733	-0,000546	-0,000023	-0,000001	-0,000003
Acc gl	-0,991294	-0,127016	0,022306	0,002653	0,018754	0,001009	-0,018569	-0,000432	0,000016	0,000004	0,000005

Tableau 4 : Coordonnées factorielles des scores des biscuits enrichis en chardon marie, basées sur les corrélations.

Variable	Factor 1	Factor 2	Factor 3	Factor 4
BT	-0,916486	0,399901	-0,011544	0,000007
10% BCM	-0,995507	-0,066479	0,067423	0,000692
20% BCM	-0,990234	-0,138652	-0,014346	-0,002665
30% BCM	-0,985278	-0,165462	-0,042968	0,001973

Annexe 4

Pétrissage de la pate des biscuits pendant différentes durées

Tableau 1 : Effet de pétrissage de la pate pendant différentes durée sur la composition des biscuits.

Biscuits	Durée de pétrissage (min)	Humidité (%)	Cendres (%)	Amidon (%)	Gluten (%)	Protéines (%)	Fibres (%)	Polyphénols (mg EAG/100g)
BT	5	5,89±0,1	1,62±0,3	68,78±0,4	37,05±0,4	5,57±0,1	0,3±0,1	44,83±0,7
	10	5,67±0,3	1,61±0,1	68,54±0,5	37,1±0,1	5,66±0,1	0,27±0,1	44,82±0,6
	15	5,57±0,01	1,61±0,01	68,08±0,01	37,13±0,01	5,73±0,02	0,23±0,02	44,82±0,03
10% BCN	5	5,34±0,4	1,79±0,3	61,51±5	32,97±0,16	5±2	0,42±0,1	198,5±0,5
	10	5,22±0,1	1,79±0,01	61,2±0,7	33,02±2	5,05±0,4	0,4±0,1	198,5±0,4
	15	5,19±0,01	1,79±0,01	61,03±0,011	33,09±0,01	5,1±0,1	0,38±0,02	198,5±0,2
20% BCN	5	5,34±0,6	1,83±0,5	61,27±0,9	32,75±3	4,90±0,16	0,55±3	203,72±0,1
	10	5,22±0,1	1,82±0,6	61,11±4	32,82±0,5	4,95±0,1	0,53±0,6	203,71±2
	15	5,19±0,02	1,82±0,02	61±1	32,89±0,02	5±0,05	0,5±0,1	203,69±0,03
30% BCN	5	5,34±0,1	1,94±0,4	61,03±2,3	32,1±2	4,83±0,5	0,61±0,1	215,5±5
	10	5,21±0,3	1,93±0,1	61±3	32,23±2,5	4,92±0,3	0,59±0,2	215,5±3,5
	15	5,19±0,03	1,93±0,02	60,91±0,03	32,3±0,3	4,97±0,04	0,57±0,03	215,5±0,3
10% BCF	5	5,61±0,4	1,81±0,3	60,09±1,5	33±1,5	5,11±2	0,38±0,1	110±3,2
	10	5,35±0,2	1,81±0,6	59,83±2,5	33,09±1	5,17±0,4	0,36±0,3	110,05±2
	15	5,24±0,01	1,81±0,005	59,4±0,2	33,18±0,015	5,24±0,03	0,35±0,02	110,05±0,07
20% BCF	5	5,6±0,6	1,84±0,2	58,6±2	32,64±4,7	5,25±1,2	0,35±0,1	142,86±2,7
	10	5,35±0,2	1,84±0,1	58,3±0,5	32,78±5	5,37±1,5	0,32±0,3	142,86±4,5
	15	5,239±0,001	1,83±0,02	57,8±0,1	32,89±0,1	5,45±0,02	0,3±0,02	142,86±0,04
30% BCF	5	5,61±1,2	1,97±0,4	57,98±3,6	32,15±5,2	5,35±1,5	0,33±0,1	160,23±3,5
	10	5,35±1	1,96±0,1	57,65±2,5	32,21±3,7	5,42±1	0,3±0,3	160,23±2,1
	15	5,2402±0,009	1,97±0,02	57,24±0,03	32,3±0,05	5,47±0,03	0,27±0,1	160,23±0,07
10% BCG	5	5,85±0,4	1,78±0,2	52,11±3	33,13±2,5	5,2±0,4	0,35±0,1	87,25±1,5
	10	5,66±0,1	1,78±0,5	52,05±5,1	33,22±1,7	5,33±0,9	0,32±0,05	87,25±2,8
	15	5,5±0,2	1,78±0,01	51,9±0,1	33,29±0,01	5,45±0,02	0,3±0,05	87,25±0,04
20% BCG	5	5,85±0,7	1,83±0,3	47,96±1,2	32,64±2,5	5,5±1,7	0,3±0,1	106,19±7
	10	5,65±0,5	1,83±0,5	47,6±0,1	32,78±3,2	5,55±1,2	0,28±0,05	106,18±5,5
	15	5,5±0,2	1,83±0,02	47,3±0,3	32,89±0,03	5,68±0,03	0,26±0,03	106,19±0,03
30% BCG	5	5,85±0,9	1,95±0,1	47,07±3,7	32,15±2	5,61±0,4	0,28±0,02	121,46±5,5
	10	5,64±0,5	1,95±0,02	46,95±5	32,21±1,5	5,69±0,9	0,26±0,05	121,46±2,5
	15	5,505±0,005	1,95±0,02	46,8±0,1	32,3±0,05	5,72±0,04	0,24±0,03	121,5±0,2
10% BCM	5	4,83±0,2	2,35±0,9	61,03±4,1	32,97±2	5,55±1	0,95±0,1	133,15±2,5
	10	4,57±0,5	2,33±0,7	60,87±5,5	33,02±2,5	5,62±1	0,9±0,5	133,15±2,5
	15	4,43±0,11	2,33±0,2	60,69±0,01	33,09±0,15	5,73±0,04	0,88±0,03	133,2±0,2
20% BCM	5	4,81±0,3	2,93±0,5	60,07±5,1	32,75±3	5,85±1,2	1,15±0,1	168,1±4,5
	10	4,49±0,1	2,93±0,1	59,83±4,2	32,82±2,5	5,97±1	1,1±0,03	168,11±2,5
	15	4,39±0,03	2,95±0,03	59,76±0,04	32,89±0,06	6,07±0,07	1,06±0,04	168,11±0,05
30% BCM	5	4,71±0,5	3,89±0,2	58,18±2	32,1±2,5	5,92±0,7	1,23±0,1	181,3±4
	10	4,37±0,1	3,89±0,1	58,06±3,7	32,23±1,5	6,05±1	1,2±0,5	181,3±5,5
	15	4,3±0,3	3,89±0,03	57,97±0,03	32,3±0,05	6,18±0,01	1,15±0,02	181,3±0,1

BT : biscuit témoin. BCN, BCF, BCG et BCM : biscuit enrichi en poudre de chêne naturel, de chêne fermenté, de chêne germé et de chardon marie. 10%, 20% et 30% : pourcentage d'addition des poudres d'enrichissement au biscuit.

Annexe 5

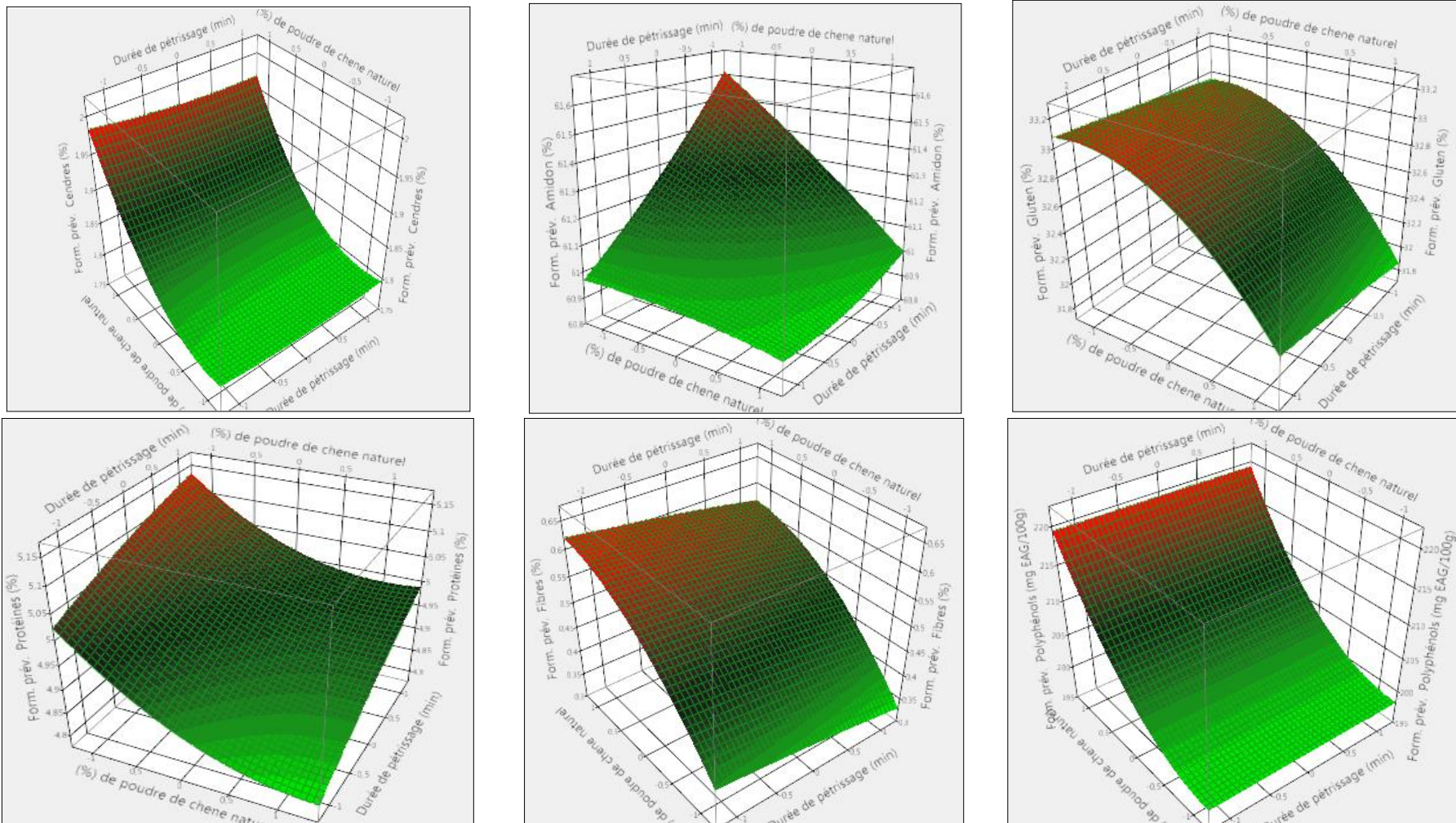


Figure 1: Surface de réponse de l'effet combiné de pétrissage et de l'enrichissement en poudre des glands de chêne naturels sur la composition de biscuit.

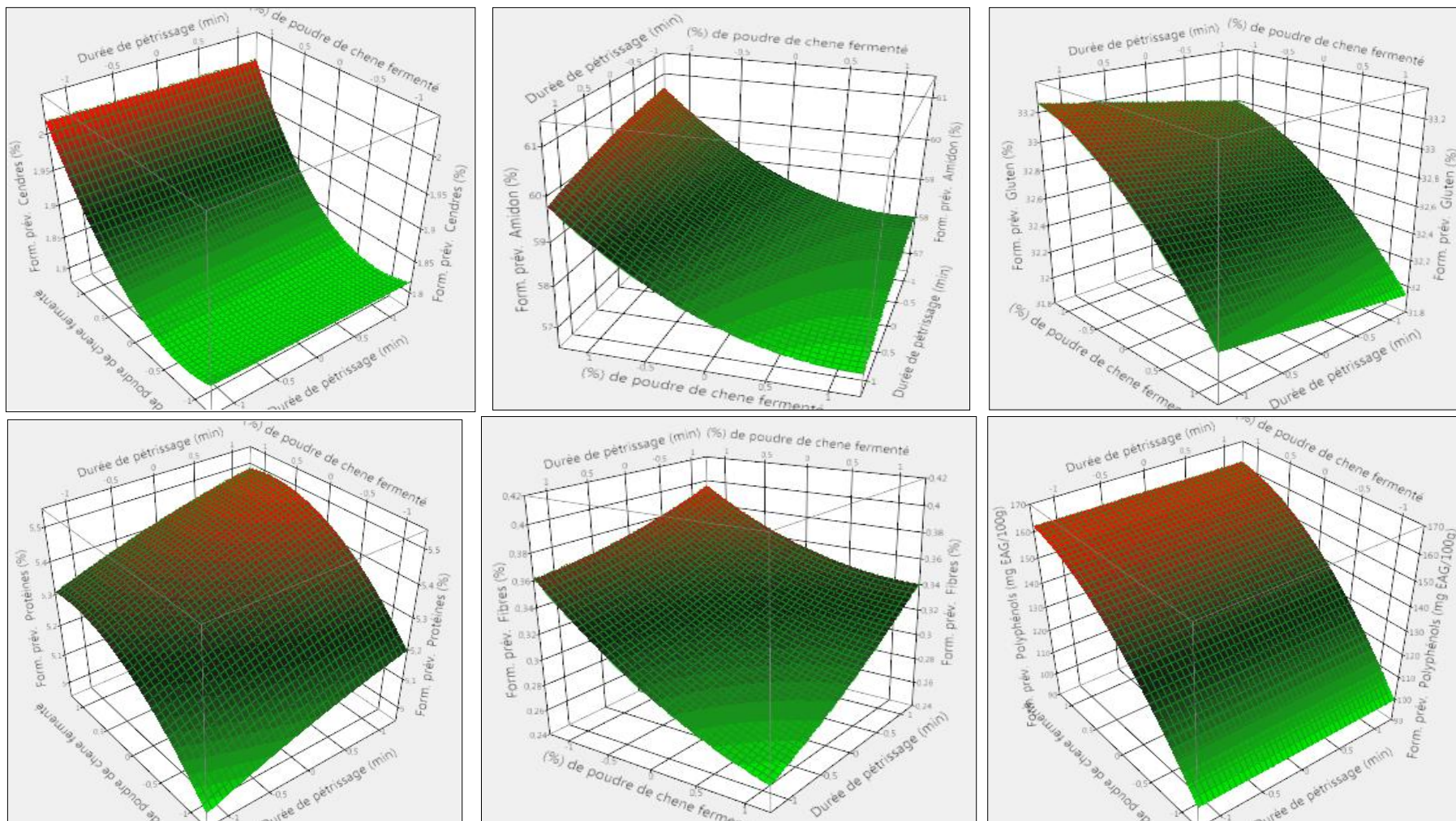


Figure 2: Surface de réponse de l'effet combiné de pétrissage et de l'enrichissement en poudre des glands de chêne fermentés sur la composition de biscuit.

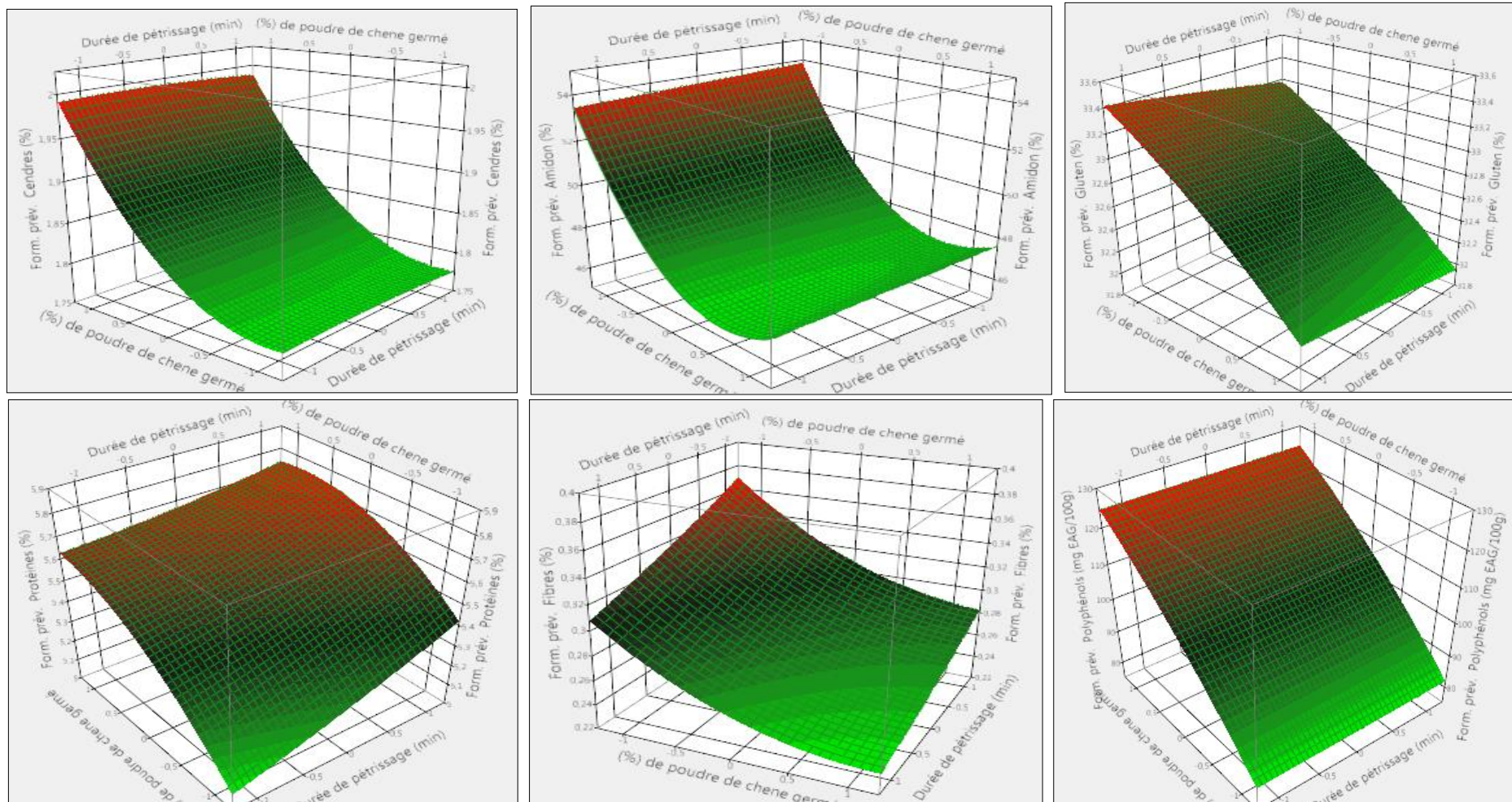


Figure 3 : Surface de réponse de l'effet combiné de pétrissage et de l'enrichissement en poudre des glands de chêne germés sur la composition de biscuit.

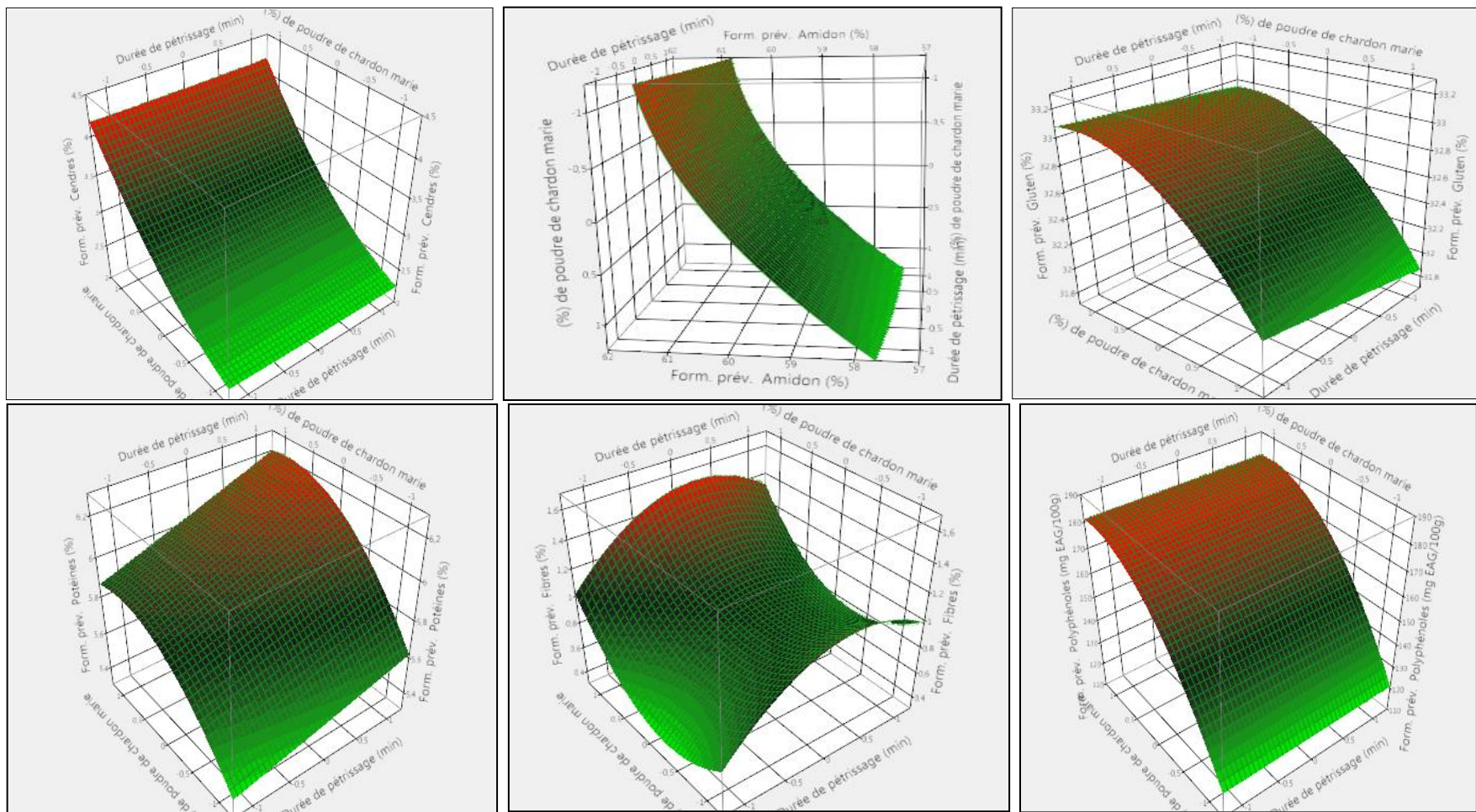


Figure 4 : Surface de réponse de l'effet combiné de pétrissage et de l'enrichissement en poudre des graines de chardon marie sur la composition de biscuit.

Articles

Influence of fermentation and germination treatments on physicochemical and functional properties of acorn flour

Menasra Amina¹, Fahloul Djamel^{1*}, and Haddad Djamel²

¹Food Sciences Laboratory (LSA), Department of Food Technology, University of Hadj Lakhdar Batna, Batna 05000, Algeria

²Laboratory (LESEI), Faculty of Engineering, University of Batna, Batna 05000, Algeria

*E-mail: dfahloul2@yahoo.com

Abstract

Amina, M., Djamel, F. & Djamel, H. (2018). Influence of fermentation and germination treatments on physicochemical and functional properties of acorn flour. *Bulgarian Journal of Agricultural Science*, 24(4), 719-726.

Acorn nuts (*Quercus ilex* L.) were treated by fermentation and germination in order to determine the effect on flour properties. Results showed that fermentation and germination treatments enhance functional properties of acorn flour which are very important in food preparation. Also, these treatments improve nutritional value of flour, increasing the mineral content (2-2.06%), decrease starch (23.8-31.15%) and phenolic content “antinutritional group” (0.52-0.55%). This research suggests that fermentation and germination treatments may help to enhance acorn flour quality.

Keywords: acorn; fermentation; germination; flour; properties

Abbreviations: M: Moisture; DM: Dry Matter; A: Ash; OM: Organic Matter; S: Starch; TTA: Total Titratable Acidity; TPC: Total Phenolic Content; BD: Bulk Density; WHC: Water Holding Capacity; OHC: Oil Holding Capacity; EA: Emulsifying Activity; FC: Foaming Capacity; SP: Swelling Power; NAF: Natural Acorn Flour; FAF: Fermented Acorn Flour; GAF: Germinated Acorn Flour

Introduction

Quercus ilex L., also called holly oak or evergreen oak, is a common Mediterranean, medium-size, evergreen tree which is widely distributed along the Balkan peninsulas and the Mediterranean region (Karioti et al., 2010). The acorn is an edible oval fruit of oak trees (Ghaderi-Ghahfarrokhi et al., 2017).

Acorns are considered as a good sources of fibers, vitamins (mostly A and E), mineral elements, unsaturated fatty acids (Vinha et al., 2016) and biologically active compounds such gallic acid, and ellagic acid (Bahmani et al., 2015).

Plant proteins have been reported to have limiting amino acids and it is necessary to combine these plant proteins in proportions that improve the protein intake of consumers. Many processes are available for improving the nutritional quality of

plant foods. These methods include traditional methods such as cooking, soaking, dewatering, fermentation, germination, smoking, salting, curing, etc. (Okpala and Okoli, 2012).

Germination is a natural biological process (Sangronis and Machado, 2007). Germination has been reported to induce an increase in free limiting amino acids and available vitamins with modified functional properties of seed components (Okpala and Okoli, 2012).

Fermentation improves amino acid composition and vitamin content, increases protein and starch availability and lowers levels of antinutrients (Okpala and Okoli, 2012).

Despite their botanical availability, acorns are not currently widely used as common nuts. Also, the available information on nutrients and chemical composition of acorns is far from being exhaustive and more research should be carried out to achieve

a comprehensive characterization of this raw material, hence boosting its potential applications (Vinha et al., 2016). Furthermore, no work has been done on the effect of fermentation and germination treatments on acorn (*Quercus ilex* L.) flour quality. So, the present study was carried out to evaluate functional and physicochemical properties of natural and treated acorn flours by fermentation and germination processes.

Material and Methods

Acorns were collected during the month of October 2016 in Ichamoul region of Batna, Algeria. All reagents and chemicals used in the experimental work were of analytical grade and were purchased from Sigma Co. (St. Louis, MO, USA). All materials were stored at 4°C until testing (Correia et al., 2009).

Physical characteristics of acorn

Acorn samples were characterized physically by determining the number of nuts in 1 kg, the mass of 1000 nuts and the ratio of the shell and the nut (Rakic et al., 2006). Length and maximum diameter were measured for 100 randomly selected nuts using digital calipers with a sensitivity of 0.01 mm (Fos'hat et al., 2011; Galvan et al., 2011).

Fermentation and germination treatments

Treated acorns nuts by fermentation and germination processes were prepared according to Khattab and Arntfield (2009) and Sangronis and Machado (2007), respectively as described in Fig. 1.

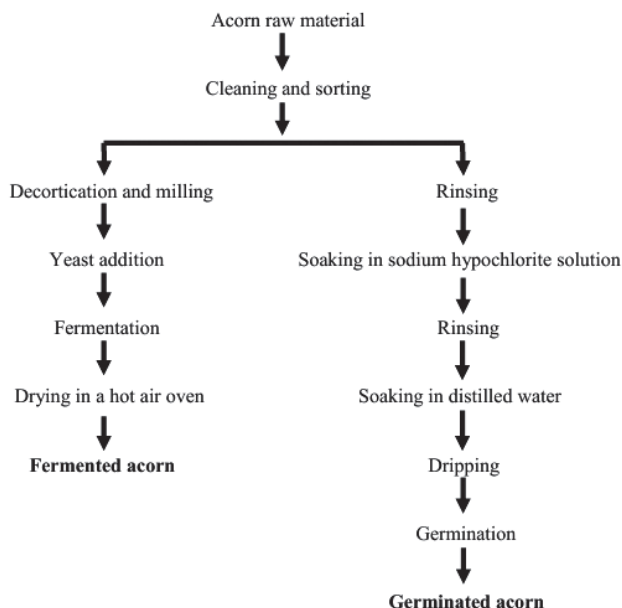


Fig. 1. Fermentation and germination treatments

Acorn flours production

Natural and treated acorns were dried at temperature of 50±5°C for 16-18 h, ground in laboratory mill (Sangronis and Machado, 2007) and sieved (one millimeter) to obtain a fine homogeneous flour. Samples were stored at 4°C until analysis (Galvan et al., 2011).

Physicochemical properties of acorn flours

Moisture content in acorn flours was determined according to AACC Method 44-19.01 (AACC, 2012). Flours were characterized for pH and ash according to AACC Methods 02-52 and 08-01, respectively (AACC, 2000). Total titratable acidity (TTA) was determined by a Sodium hydroxide (NaOH) titration according to AOAC (2005). Total starch content was determined by polarimetric method (Correia et al., 2009).

Total phenolic content (TPC) in acorn flours was determined by Folin-Ciocalteu assay (Ghaderi-Ghahfarrokhi et al., 2017) using the Shimadzu Ultraviolet-Visible (UV-Vis) spectrophotometer T60U (Tejerina et al., 2011). Total phenolic compounds were quantified using a gallic acid standard curve ranging 2.55 µg/mL (Tejerina et al., 2011). The results were calculated with regard to the dry matter (Rakic et al., 2006).

Color of flours was assessed using a colorimeter (CR-10, Konica Minolta Sensing Inc., Osaka, Japan). A white tile ($L^* = 97.46$; $a^* = -0.02$; $b^* = 1.72$) was used as reference. Total color difference (TCD*) as defined by Equation (1) was also calculated (Correia et al., 2009):

$$TCD^* = \sqrt{(L^* - L_0^*)^2 + (a^* - a_0^*)^2 + (b^* - b_0^*)^2} \quad (1)$$

Functional properties of acorn flours

Bulk density was determined as described by Chinma et al. (2009). Water and oil holding capacities were defined as determined by Zouari et al. (2016). Emulsifying activity and foaming capacity were determined as described by Elkhalfa et al. (2010). Swelling power was defined as described by Adebowale and Maliki (2011).

Statistical analysis

Statistical analysis was performed using SPSS software version 20.0 (SPSS Inc., Chicago, IL, USA). Significant differences between the detected parameters were compared by means of Duncan's multiple comparison test at the 95% confidence level ($p \leq 0.05$) (Aponte et al., 2014). The results for acorn flours properties were compared using principal component analysis (PCA). Comparison was performed by STATISTICA software, version 10.0 (StatSoft, France) (Aponte et al., 2014).

Results and Discussion

Physical properties of acorn

Physical properties of acorn are presented in Table 1. Length of acorn nut was found to be 39.99 mm. This value is similar to those (22.81-40.35 mm) reported by Galvan et al. (2011) for holm oak (*Quercus ilex* subsp. *ballota*). Maximum diameter of acorn nut was found to be 17.9 mm. This value is lower than (18.21 mm) mentioned by Fos'hat et al. (2011) for acorn (*Quercus suber* L.). Acorn nut mass was found to be 4.16 g. This value is lower than (7.22 g) reported by Rakic et al. (2006) for acorn (*Quercus robur*) and similar to those (2.41-6.12 g) found by Galvan et al. (2011) for holm oak. Cantos et al. (2003) mentioned that the weight of fifteen acorns (*Quercus ilex*) is 178.78 g. The number of acorn nuts in one kilogram was found to be 240.38. Rakic et al. (2006) reported the number of acorn (*Quercus robur*) in one kilogram equal to 138.91. This result is acceptable due to the difference between acorns masses. Shell of acorn was found to be 16.82%. This value is higher than (14.33%) found by Rakic et al. (2006) for acorn (*Quercus robur*). Nut ratio of acorn

Table 1
Physical characteristics of acorn (*Quercus ilex* L.)

Parameters	Acorn nut
Length (mm)	39.99±0.01 ^a
Maximum diameter (mm)	17.99±0.4 ^b
Number of nuts in 1kg	240.38±0.12 ^c
Mass of 1000 nuts (g)	4.16±0.02 ^d
Shell (%)	16.82±0.03 ^e
Nut (%)	83.17±0.02 ^f

Superscript values with different letters indicate significant difference ($P \leq 0.05$) analyzed by Duncan's multiple range test.

Table 2
Physicochemical properties of acorn flours

Parameters	Natural acorn flour	Fermented acorn flour	Germinated acorn flour
Moisture (%)	10.37±0.015 ^{aA}	10.50±0.015 ^{aBC}	10.48±0.015 ^{aCB}
Dry matter (%)	89.63±0.015 ^{bA}	89.50±0.015 ^{bBC}	89.52±0.015 ^{bCB}
Ash (%)	1.85±0.015 ^{cA}	2.06±0.015 ^{cB}	2.00±0.01 ^{cC}
Organic matter (%)	98.15±0.015 ^{dA}	97.94±0.015 ^{dB}	98±0.01 ^{dC}
pH	6.05±0.011 ^{eA}	3.93±0.011 ^{eB}	5.83±0.02 ^{eC}
TTA (%)	0.15±0.015 ^{fAC}	0.23±0.005 ^{fB}	0.17±0.015 ^{fCA}
Starch (%)	34.2±0.608 ^{gA}	31.15±0.020 ^{gB}	23.8±0.2 ^{gC}
TPC (%)	0.61±0.005 ^{hA}	0.55±0.005 ^{hB}	0.52±0.01 ^{hC}
L*	72±0.1 ^{iAB}	67.03±0.25 ^{iBA}	67.3±0.3 ^{iC}
c*	27.36±0.25 ^{jhAB}	26.46±0.35 ^{hBA}	26.09±0.27 ^{hC}
h°	78.1±0.2 ^{kAC}	78.13±0.25 ^{kB}	80.46±0.18 ^{kCA}
TCD*	35.95±0.19 ^{lA}	39.5±0.085 ^{lB}	38.70±0.03 ^{lC}

TTA: total titratable acidity, TPC: total phenolic content, L*: lightness, c*: chromaticity, h°: hue angle, TCD*: total color difference. Superscript values with different letters (lower-case in same column or upper-case in the same line) indicate significant difference ($P \leq 0.05$) analyzed by Duncan's multiple range test.

was found to be 83.17%. This value is lower than (85.66%) mentioned by Rakic et al. (2006) for acorn (*Quercus robur*).

According to Rakic et al. (2006), physical characteristics of the starting material are important for several reasons, foremost the nut collecting procedure, including the mechanical separation of the shell from the nut, drying and crushing or milling.

Physicochemical properties of acorn flours

The effect of fermentation and germination treatments on physicochemical properties of acorn flours is presented in Table 2. Moisture content of acorn flours was found to lie in the acceptable limits. Values lie within the limits that enable safe storage. The level of moisture of natural acorn flour (10.37%) is higher than found by Rakic et al. (2006) for acorn *Quercus robur* flour (7.89%) and reported by Li et al. (2015) for *Quercus glandulifera* B1 flour (7.55%), respectively.

Moisture content increases by germination (10.48%) and fermentation (10.50%) treatments. Similarly, Chinma et al. (2009) and Gernah et al. (2011) found an increase in moisture of germinated tigernut (*Cyperus esculentus*) and fermented maize (*Zea mays*) flours, respectively. High moisture content in fermented acorn flour can be attributed to the addition of water to the acorn prior to fermentation (Ojokoh and Bello, 2014). The increase in moisture content in germinated acorn flour might be due to its low dry matter content (Chinma et al., 2009).

Ash content in natural acorn flour (1.85%) is similar to those (1.34-2.02%) reported by Galvan et al. (2011) for holm oak (*Quercus ilex* subsp. *ballota*). Found ash values by Rakic et al. (2006), Hegazy et al. (2014) and Li et al. (2015) for

acorns *Quercus robur*, *Quercus glandulifera* Bl and chestnut *Castanea sativa* Mill. are 2.07%, 0.03% and 2.44% , respectively.

An increase in ash content was observed with germination and fermentation treatments (Table 2) and there were significant differences ($P \leq 0.05$) in ash content values among flour samples. Idris et al. (2005) and Gernah et al. (2011) observed an increase in mineral content with increased time of germinated sorghum and fermented maize flours, respectively. The increase in ash level during fermentation could be as a result of incomplete utilization of minerals by fermenting organisms during metabolism (Ojokoh and Bello, 2014).

pH value decreased (3.93) and total titratable acidity (TTA) increased (0.23) under fermentation treatment influence. These results could be due to carbohydrates degradation resulting in acidification of fermented acorn flour (Bilgiçli et al., 2006; Ojokoh and Bello, 2014). These observations are in agreement with earlier studies by Ojokoh and Bello (2014) for fermented millet (*Pennisetum glaucum*) and soybean (*Glycine max*) blend flours. pH decreased slightly (5.83) in germinated acorn flour. Similarly, Gernah et al. (2011) found a decrease in pH of germinated maize (*Zea mays*) flour. This change in pH during germination could be a result of hydrolysis of some complex organic molecules like lipids and proteins (Gernah et al., 2011).

Starch content of flours varied from 23.8% to 34.2% (Table 2) and there were significant differences ($P \leq 0.05$) in starch content values among flour samples. Starch value in natural acorn flour (34.2%) is higher than (33.5%) mentioned by Correia et al. (2009) for *Quercus rotundifolia* flour. Starch content decrease by germination (23.8%) and fermentation (31.15%) treatments. Chinma et al. (2009) and Gernah et al. (2011) found a decrease in starch content of germinated tigernut (*Cyperus esculentus*) and fermented maize (*Zea mays*) flours, respectively. The decrease in starch by germination may be attributed to an increase in alpha-amylase activity which breaks down complex carbohydrates into simpler and more absorbable sugars used during germination (Chinma et al., 2009). Also, metabolic activities for growth reduce carbohydrate level during fermentation. The decrease may also be attributed to the conversion of carbohydrate to glucose and by fermenting microorganism as energy source (Ojokoh and Bello, 2014).

Total phenolic content in acorn flours ranged from 0.52 to 0.61% (Table 2) and there were significant differences ($P \leq 0.05$) in total phenolic content values among flour samples. Phenolic content in natural acorn flour (0.61%) is lower than (0.62%) found by Belarbi (2003) and that (0.631%) reported by ElMahi et al. (2016) for

acorn (*Quercus ilex*) flour but higher than (3.778 times ten power three micrograms per gram) mentioned by Hegazy et al. (2014) for chestnut (*Castanea sativa* Mill.) flour. Total phenolic content found by Ghaderi-Ghahfarrokhi et al. (2017) for acorns (*Quercus branti*) and (*Quercus castaneifolia*) flours is 4.48 and 9.61 grams per one hundred grams, respectively. Diversity in quantities of polyphenols and other phytochemicals present in plant foods may be due to variety fruit, plant genetics, sunlight, soil composition, season, region of cultivation, stage of maturity and post harvest maturity (Ghaderi-Ghahfarrokhi et al., 2017). Acorn contains considerable amounts of tannin and other phenolic substances. They are classified in category of antinutritional group along with other components such as phytats, lectins, enzyme inhibitors, saponins, etc. (Ghaderi-Ghahfarrokhi et al., 2017). All treatments conducted in this work caused a significant decrease in total phenolic content of acorn flours. The highest reduction in total phenolic content was caused by germination (0.52%) followed by fermentation (0.55%) treatment. Ghavidel and Prakash (2007) and Ojokoh and Bello (2014) reported a reduction in antinutrients content in germinated legume seeds and fermented millet (*Pennisetum glaucum*) and soybean (*Glycine max*) blend flours, respectively.

Lightness (L^*) of natural acorn flour (72) is lower than (75.2) reported by Correia et al. (2009) and that (78.83) found by Hegazy et al. (2014) for acorn (*Quercus suber*) and chestnut (*Castanea sativa* Mill.) flours, respectively. Lightness (L^*) value of acorn flour decreased by fermentation (67.03) and germination (67.3) treatments. These observations are in agreement with earlier studies by Hallén et al. (2004) who reported a reduction in lightness of enriched wheat flour by fermented and germinated cowpea flours. Lightness (L^*), chromaticity (c^*), hue angle (h°) and total color difference (TCD*) values of acorn flours (Table 2) were similar to those found by Correia et al. (2009) for acorn (*Quercus suber*) flours.

Functional properties of acorn flours

Table 3 shows functional properties of natural and treated acorn flours. Bulk density of acorn flour (0.64 g/cm³) decreased by fermentation treatment (0.59 g/cm³). Similarly, Adebowale and Maliki (2011) found a decrease in bulk density of fermented pigeon pea (*Cajanus cajan*) seed flour. The low bulk density could be attributed to the relatively lower protein content (Oppong et al., 2015). Germination treatment decreased the bulk density of acorn flour from 0.64-0.48 g/cm³. Similar observations of lowered bulk density by germination treatment was reported by Chinma et al. (2009) and Elkhalifa and Bernhardt (2010) for tigernut and sorghum

Table 3
Functional properties of acorn flours

Parameters	Natural acorn flour	Fermented acorn flour	Germinated acorn flour
BD (g/cm ³)	0.64±0.015 ^{aA}	0.58±0.015 ^{aB}	0.48±0.005 ^{aC}
WHC (g/g)	1.03±0.03 ^{bAB}	1.05±0.02 ^{bBA}	1.10±0.01 ^{bC}
OHC (g/g)	0.76±0.015 ^{cAB}	0.83±0.035 ^{cBAC}	0.9±0.1 ^{cCB}
EA (%)	41.28±0.02 ^{dA}	41.72±0.02 ^{dB}	42.09±0.005 ^{dC}
FC (%)	7.63±0.03 ^{eA}	6.83±0.02 ^{eB}	8.09±0.005 ^{eC}
SP (%)	6.7±0.1 ^{fAB}	6.59±0.01 ^{fBA}	7.01±0.015 ^{fC}

BD: bulk density, WHC: water holding capacity, OHC: oil holding capacity, EA: emulsifying activity, FC: foaming capacity, SP: swelling power. Superscript values with different letters (lower-case in same column or upper-case in the same line) indicate significant difference ($P \leq 0.05$) analyzed by Duncan's multiple range test.

flours, respectively. According to Ocheme et al. (2015), the reduction in bulk density observed in germinated flour may be due to the breakdown of complex compounds such as starch and proteins as a result of the modification occurring during germination.

Water absorption capacity of germinated acorn flour (1.10 grams per gram) was higher than natural acorn flour (1.03 grams per gram). These observations are in agreement with earlier studies by Ocheme et al. (2015) who found an increase in water holding capacity of germinated sorghum flour. The increase in water absorption capacity by germination treatment could be attributed to the change in the quality of protein during germination and also the breakdown of polysaccharide molecules; hence the sites of interaction with water and holding water would be increased (Elkhalifa and Bernhardt, 2010). Water absorption capacity of acorn flour increased by fermentation treatment (1.05 grams per gram). Adebowale and Maliki (2011) found an increase in water holding capacity of fermented pigeon pea (*Cajanus cajan*) seed flour.

The increase in oil absorption capacity was recorded in germinated acorn flour (0.9 grams per gram). Similarly, Chinma et al. (2009) reported an increase in oil absorption capacity of germinated tigernut (*Cyperus esculentus*) flours. The increase in oil absorption capacity could be attributed to the change in the quality of protein upon germination and also its capacity to hold fat globules as the amount of lipophilic protein increases. Furthermore, the decrease in fat content of germinated acorn flour might have resulted in its ability to absorb more oil in its structure (Chinma et al., 2009).

Emulsion capacity of different acorn flours ranged between 41.28% and 42.09% (Table 3) and there were significant differences ($P \leq 0.05$) in emulsion capacity values among flour samples. The increase observed in the emulsion capacity of germinated acorn flour (42.09%) might be attributed to dissociation and partial unfolding of polypeptides that expose the hydrophobic sites of amino acids, which aids hydrophobic association of the peptide chains with the lipid

droplets (Elkhalifa and Bernhardt, 2010). These observations are in agreement with earlier studies by Chinma et al. (2009) and Elkhalifa and Bernhardt (2010) who observed an increase in emulsifying activity of germinated tigernut (*Cyperus esculentus*) and sorghum flours, respectively.

Foam capacity of acorn flour increased by germination (8.09%) and decreased by fermentation treatment (6.83%) and there were significant differences ($P \leq 0.05$) in foam capacity values among flour samples. Similarly, Chinma et al. (2009) found an increase in foaming capacity of germinated tigernut (*Cyperus esculentus*) flour and Adebowale and Maliki (2011) reported a decrease in foam capacity of fermented pigeon pea (*Cajanus cajan*) seed flour. During germination, the amount of soluble proteins increased, resulting in improved foam capacity. Germination may have caused surface denaturation of proteins and reduced the surface tension of the molecules, which gave good foamability (Elkhalifa and Bernhardt, 2010).

Swelling capacity of acorn flours varied between 6.59% and 7.01% with germinated acorn flour showing the higher value. Swelling capacity for acorn flour (six point seven percent) is lower than (10.04%) reported by Correia and Beirao-da-Costa (2011) for acorn (*Quercus rotundifolia*) flour. Difference may be justified by variation in the botanical source (Correia et al., 2009). Swelling capacity of acorn flour decreased with fermentation treatment from 6.7% to 6.59%. These observations are in agreement with earlier studies by Adebowale and Maliki (2011) who found a decrease in swelling power of fermented pigeon pea (*Cajanus cajan*) seed flour. Swelling capacity of acorn flour increased by germination treatment from 6.7% to 7.01%. Ocheme et al. (2015) reported an increase in swelling capacity of sorghum flour as a result of germination. The increase in swelling capacity was probably due to an increase in soluble solids brought by the breakdown of lipid, fiber and larger amount of amylase-lipid complex in flour that could inhibit the swelling of starch granules (Ocheme et al., 2015).

Principal component analysis (PCA) of acorn flours properties

Relationships between acorns flours properties were obtained using factorial principal component analysis (PCA). The original data set was renormalized by an autoscaling transformation (data not shown) and different parameters were analyzed by a multivariate approach (Popovic et al., 2013). The two first principal components (PCs) were sufficient to explain the maximum variation in all original data. Figure 2 shows plots of loadings (Fig. 2A) and scores (Fig. 2B) obtained from PCs, where the first two principal components (PC1 and PC2) accounted for 93.67% of the total variance of the data. In particular, PC1 explained 55.64% of the variation of the data, while PC2 explained 38.03% (Aponte et al., 2014).

For Fig. 2A, in the unit circle, parameters (lightness (L^*), water holding capacity (WHC), emulsifying activity (EA), oil holding capacity (OHC), total phenolic content (TPC), bulk density (BD), starch (S) and total colour difference (TCD*)) are well presented in the first axis than the others (swelling power (SP), chromaticity (c^*), foaming capacity (FC), pH, organic matter (OM), dry matter (DM), moisture (M), ash (A), total titratable acidity (TTA) and hue angle (h°)) in the second axis. Fig. 2A divided the preceding parameters very well in the following way:

Axis 1, for PC1:

Lightness (L^*), water holding capacity (WHC), emulsifying activity (EA) and oil holding capacity (OHC), are

strongly negatively correlated with total phenolic content (TPC), bulk density (BD), starch (S) and total color difference (TCD*). These variables contribute strongly to the formation of axis 1;

Lightness (L^*), water holding capacity (WHC), emulsifying activity (EA) and oil holding capacity (OHC) have a great effect on PC1 than total phenolic content (TPC), bulk density (BD), starch (S) and total color difference (TCD*), because they were positively correlated by PC1 and any increase in these variables produces an increase in PC1. On the other hand, total phenolic content (TPC), bulk density (BD), starch (S) and total color difference (TCD*) were negatively correlated by PC1;

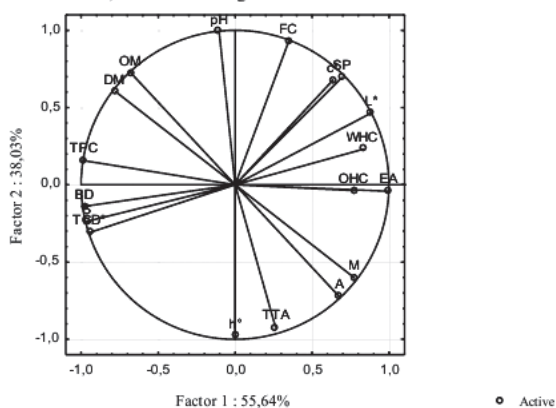
Emulsifying activity (EA) and oil holding capacity (OHC) parameters are positioned closely due to the significant positive correlations among them (Popovic et al., 2013). According to Zouari et al. (2016), flour proteins act as surface active agents and stabilize the emulsion by performing electrostatic repulsion on oil droplet surface.

Axis 2, for PC2:

Swelling power (SP), chromaticity (c^*), foaming capacity (FC), pH, organic matter (OM) and dry matter (DM) are strongly negatively correlated with moisture (M), ash (A), total titratable acidity (TTA) and hue angle (h°). These variables contribute strongly to the formation of axis 2 ;

Swelling power (SP), chromaticity (c^*), foaming capacity (FC), pH, organic matter (OM) and dry matter

Projection of the variables on the factor-plane (1 x 2)
Graphe of loading plot of physicochemical and functional properties of natural, fermented and germinated acorn flours



Projection of the variables on the factor-plane (1 x 2)
Graphe scores plot for natural (NAF), fermented (FAF) and germinated (GAF) acorn flours

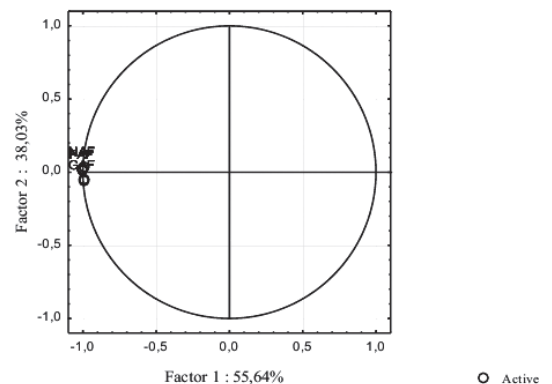


Fig. 2. Graph of loading plot of physicochemical and functional properties (A) and scores plot (B) for acorn flours

M: moisture, DM: dry matter, A: ash, OM: organic matter, S: starch, pH, TTA: total titratable acidity, TPC: total phenolic content, L^* : lightness, c^* : chromaticity, h° : hue angle, TCD*: total color difference, BD: bulk density, WHC: water holding capacity, OHC: oil holding capacity, EA: emulsifying activity, FC: foaming capacity, SP: swelling power, NAF: natural acorn flour, FAF: fermented acorn flour, GAF: germinated acorn flour. Parameters with close interdependence and correlation are close to each other and vice versa. Flours samples that are close to each other possess similar properties statuses.

(DM) have a great effect on PC2 than moisture (M), ash (A), total titratable acidity (TTA) and hue angle (h°), because they were positively correlated by PC2 and any increase in these variables produces an increase in PC2. On the other hand moisture (M), ash (A), total titratable acidity (TTA) and hue angle (h°) were negatively correlated by PC2;

Opposite direction of ash (A), moisture (M) and total titratable acidity (TTA) on one side and organic matter (OM), dry matter (DM) and pH on another side, indicates that ash (A), moisture (M) and total titratable acidity (TTA) are the major contributors of organic matter (OM), dry matter (DM) and pH, respectively (Popovic et al., 2013).

For Fig. 2B, the scores distribution allowed for clustering of the samples into three groups (natural acorn flour (NAF), fermented acorn flour (FAF) and germinated acorn flour (GAF)). The difference between these groups is based on PC1 (total phenolic content (TPC), bulk density (BD), and starch (S)) (Popovic et al., 2013). All three groups (natural acorn flour (NAF), fermented acorn flour (FAF) and germinated acorn flour (GAF)) were negatively scored on PC1 (Aponte et al., 2014). Natural acorn flour (NAF) and fermented acorn flour (FAF) showing positive scores on PC2 but germinated acorn flour (GAF) entirely located in the negative part. As expected, fermented acorn flour (FAF) was located more proximate to natural acorn flour (NAF) rather than germinated acorn flour (GAF). Therefore, fermented acorn flour (FAF) and natural acorn flour (NAF) possesses similar properties statuses (Popovic et al., 2013). In particular, natural acorn flour (NAF) proved to be strongly characterized by total phenolic content (TPC) (Aponte et al., 2014). Total phenolic content in natural acorn flour (NAF) is higher than fermented (FAF) and germinated (GAF) acorn flours. Results of principal component analysis (PCA) revealed the influence of fermentation and germination treatments on the physicochemical and functional properties of acorn flours (Aponte et al., 2014).

Conclusions

The research showed that fermentation and germination treatments improve functional properties (water absorption capacity: 1.05-1.10 grams per gram, emulsifying activity: 41.72-42.09% and oil holding capacity (0.83-0.9 grams per gram), increase mineral content (2-2.06%) but decrease starch (31.15-23.8%) and phenols content (0.55-0.52%) of acorn flour. The obtained results suggest that the incorporation of natural and treated acorn flours may help enhancing nutritional value in food formulations.

Acknowledgement

The authors would like to acknowledge technicians of Food Science Laboratory (LSA) for their assistance throughout the preparation of this article.

References

- AACC (American Association of Cereal Chemistry) (2000). Official Methods of Analysis, 9th edition, USA, St. Paul., Minnesota.
- AACC (American Association of Cereal Chemistry) (2012). Official Methods of Analysis, 11th edition, USA, St. Paul., Minnesota.
- Adebowale, O. J., & Maliki, K. (2011). Effect of fermentation period on the chemical composition and functional properties of Pigeon pea (*Cajanus cajan*) seed flour. *International Food Research Journal*, 18(4), 1329-1333.
- AOAC (Association of Official Analytical Chemists) (2005). Official Methods of Analysis, 18th edition, USA, Washington, DC.
- Aponte, M., Boscaino, F., Sorrentino, A., Coppola, R., Masi, P., & Romano, A. (2014). Effects of fermentation and rye flour on microstructure and volatile compounds of chestnut flour based sourdoughs. *LWT-Food Science and Technology*, 58(2), 387-395.
- Bahmani, M., Forouzan, S. H., Fazeli-Moghadam, E., Rafeian-Kopaei, M., Adineh, A., & Saberianpour, S. H. (2015). Oak (*Quercus branti*): an overview. *J Chem Pharm Res*, 7(1), 634-9.
- Belarbi, M. (2003). *Study of the nutritional and antinutritional compounds of three species of oak and their nutritional efficiency in the Wistar rat*. Doctoral dissertation, Abou Bekr Belkaid University, Tlemcen, Algeria.
- Bilgili, N., Elgün, A., Herken, E. N., Ertaş, N., & İbanoglu, Ş. (2006). Effect of wheat germ/bran addition on the chemical, nutritional and sensory quality of tarhana, a fermented wheat flour-yoghurt product. *Journal of Food Engineering*, 77(3), 680-686.
- Cantos, E., Espín, J. C., López-Bote, C., de la Hoz, L., Ordóñez, J. A., & Tomás-Barberán, F. A. (2003). Phenolic compounds and fatty acids from acorns (*Quercus* spp.), the main dietary constituent of free-ranged Iberian pigs. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 51(21), 6248-6255.
- Chinma, C. E., Adewuyi, O., & Abu, J. O. (2009). Effect of germination on the chemical, functional and pasting properties of flour from brown and yellow varieties of tigernut (*Cyperus esculentus*). *Food Research International*, 42(8), 1004-1009.
- Correia, P. R., Leitão, A. E., & Beirão-da-Costa, M. L. (2009). Effect of drying temperatures on chemical and morphological properties of acorn flours. *International Journal of Food Science & Technology*, 44(9), 1729-1736.
- Correia, P. R., & Beirão-da-Costa, M. L. (2011). Effect of drying temperatures on starch-related functional and thermal properties of acorn flours. *Journal of Food Science*, 76(2), E196-E202.
- Elkhalifa, A. E. O., & Bernhardt, R. (2010). Influence of grain germination on functional properties of sorghum flour. *Food Chemistry*, 121(2), 387-392.

- ElMahi, F. Z., Benali, M., DIF, M., Bouazza, S., & Rih, A. (2016). First phytochemical analysis of the anti-nutritional aspect of holm oak acorn (*Quercus Ilex L*) of Tessala (Algeria NW) before and after cooking. *Advances in Environmental Biology*, 10(1), 259-264.
- Fos' hat, M., Etemad, V., Gharibzahedi, S. M. T., & Ghahderjani, M. (2011). Physical, mechanical and aerodynamic properties of acorn (*Quercus suber L.*) as potentials for development of processing machines. *Australian Journal of Crop Science*, 5(4), 473-478.
- Galván, J. V., Novo, J. J. J., Cabrera, A. G., Ariza, D., García-Olmo, J., & Cerrillo, R. M. N. (2012). Population variability based on the morphometry and chemical composition of the acorn in holm oak (*Quercus ilex* subsp. *ballota* [Desf.] Samp.). *European Journal of Forest Research*, 131(4), 893-904.
- Gernah, D. I., Ariaahu, C. C., & Ingbian, E. K. (2011). Effects of malting and lactic fermentation on some chemical and functional properties of maize (*Zea mays*). *American Journal of food technology*, 6(5), 404-412.
- Ghavidel, R. A., & Prakash, J. (2007). The impact of germination and dehulling on nutrients, antinutrients, in vitro iron and calcium bioavailability and in vitro starch and protein digestibility of some legume seeds. *LWT-Food Science and Technology*, 40(7), 1292-1299.
- Ghaderi-Ghahfarokhi, M., Sadeghi-Mahoonak, A. R., Alami, M., & Mousavi Khanegah, A. (2017). Effect of processing treatments on polyphenol removal from kernel of two Iranian acorns varieties. *International Food Research Journal*, 24(1), 86-93.
- Hallén, E., İbanoğlu, Ş., & Ainsworth, P. (2004). Effect of fermented/germinated cowpea flour addition on the rheological and baking properties of wheat flour. *Journal of Food Engineering*, 63(2), 177-184.
- Hegazy, N., Kamil, M., Hussein, A., & Barch, G. (2014). Chemical and technological properties of improved Biscuit by Chestnut Flour. *International Journal of Food and Nutritional Sciences*, 3(6), 7-15.
- Idris, W. H., Abderahman, S. M., El Maki, H. B., Babiker, E. E., & El Tinay, A. H. (2005). Effect of germination, fermentation and cooking on phytic acid and tannin contents and Hcl-extractability of minerals of sorghum (*Sorghum biocolor*) cultivars. *Journal of Food Technology*, 3(3), 410-416.
- Karioti, A., Bilia, A. R., & Skaltsa, H. (2010). *Quercus ilex L.*: A rich source of polyacylated flavonoid glucosides. *Food Chemistry*, 123(1), 131-142.
- Khattab, R. Y., & Arntfield, S. D. (2009). Nutritional quality of legume seeds as affected by some physical treatments 2. Antinutritional factors. *LWT-Food Science and Technology*, 42(6), 1113-1118.
- Ocheme, O. B., Adedeji, O. E., Lawal, G., & Zakari, U. M. (2015). Effect of germination on functional properties and degree of starch gelatinization of sorghum flour. *Journal of Food Research*, 4(2), 159.
- Ojokoh, A., & Bello, B. (2014). Effect of fermentation on nutrient and anti-nutrient composition of millet (*Pennisetum glaucum*) and soyabean (*Glycine max*) blend flours. *Journal of Life Sciences*, 8(8), 668-675.
- Okpala, L. C., & Okoli, E. C. (2014). Development of cookies made with cocoyam, fermented sorghum and germinated pigeon pea flour blends using response surface methodology. *Journal of Food Science and Technology*, 51(10), 2671-2677.
- Opong, D., Arthur, E., Kwadwo, S. O., Badu, E., & Sakyi, P. (2015). Proximate composition and some functional properties of soft wheat flour. *International Journal of Innovative Research in Science, Engineering and Technology*, 4(2), 2347-6710.
- Popović, B. M., Štajner, D., Ždero, R., Orlović, S., & Galić, Z. (2013). Antioxidant characterization of oak extracts combining spectrophotometric assays and chemometrics. *The Scientific World Journal*, 1-8.
- Rakić, S., Povrenović, D., Tešević, V., Simić, M., & Maletić, R. (2006). Oak acorn, polyphenols and antioxidant activity in functional food. *Journal of Food Engineering*, 74(3), 416-423.
- Sangronis, E., & Machado, C. J. (2007). Influence of germination on the nutritional quality of *Phaseolus vulgaris* and *Cajanus cajan*. *LWT-Food Science and Technology*, 40(1), 116-120.
- Li, S., Zhou, Y., Liu, M., Zhang, Y., & Cao, S. (2015). Nutrient composition and starch characteristics of *Quercus glandulifera* Bl. seeds from China. *Food Chemistry*, 185, 371-376.
- Tejerina, D., García-Torres, S., de Vaca, M. C., Vázquez, F. M., & Cava, R. (2011). Acorns (*Quercus rotundifolia* Lam.) and grass as natural sources of antioxidants and fatty acids in the "montanera" feeding of Iberian pig: Intra- and inter-annual variations. *Food Chemistry*, 124(3), 997-1004.
- Vinha, A. F., Barreira, J. C., Costa, A. S., & Oliveira, M. B. P. (2016). A new age for *Quercus* spp. fruits: Review on nutritional and phytochemical composition and related biological activities of acorns. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 15(6), 947-981.
- Zouari, R., Besbes, S., Ellouze-Chaabouni, S., & Ghribi-Aydi, D. (2016). Cookies from composite wheat-sesame peels flours: dough quality and effect of *Bacillus subtilis* SPB1 biosurfactant addition. *Food Chemistry*, 194, 758-769.

Received: November 12, 2017; reviewed: December 21, 2017; accepted: April 11, 2018

EFFECT OF FERMENTATION AND GERMINATION TREATMENTS ON PHYSICOCHEMICAL AND SENSORY PROPERTIES OF ENRICHED BISCUITS WITH ACORN FLOUR

Amina Menasra¹, Djamel Fahloul^{1*}

¹Food Sciences Laboratory (LSA), Department of Food Technology, Institute of Agriculture and Veterinary Sciences, University of Hadj Lakhdar Batna1, 05000 Batna, Algeria,

* E-mail: menasraamina@gmail.com, dfahloul2@yahoo.com

Abstract

*Biscuits with a pleasant taste and accessible cost are widely consumed in the world. Over the years, a number of studies have been reported to improve nutritive value of biscuits. Many processes such as fermentation and germination are available to improve the nutritional quality of foods. The aim of this study was to estimate the potential incorporation of acorn as a dietary supplement and to determine the effect of fermentation and germination treatments on quality of enriched biscuits with acorn flour. Biscuits were prepared after incorporation of 10% of natural, fermented and germinated acorn flour of *Quercus ilex* variety. Physicochemical and sensory properties of enriched biscuits were characterized. Results showed that fermentation and germination treatments improve significantly nutritional properties of enriched biscuits (increases ash and decreases starch content). However, the above treatments decrease significantly physical dimensions (diameter and thickness) and sensory characteristics (color and appearance) of enriched biscuits. In addition, fermentation treatment decreases pH, increases titrable acidity and it has been effective in making enriched biscuits more acceptable (overall acceptance: 7.23). Thus, acorn flour could be used as a natural enrichment of gluten-free bakery product and fermentation treatment seems to be a natural method to improve sensory properties of enriched biscuits with acorn flour. Finally, all results indicate the possibility of the acorn flour as promising in the formulation of biscuits and open broad prospects in food industries.*

Keywords: enriched biscuits, acorn flours, fermentation, germination, quality.

Received: 08.07.2018

Reviewed: 03.10.2018

Accepted: 24.10.2018

1. INTRODUCTION

Cereal products are consumed by the majority of populations (Heinio et al., 2016). Biscuits are favorite food mostly due to their pleasant taste, ready to eat nature, accessible cost, availability and longer shelf time (Vujic et al., 2015). For years, food industry has focused on increasing nutritional value of cereal products (Ktenioudaki and Gallagher, 2012). A number of studies have been reported to improve nutritive value of biscuits by incorporating bean, sesame seed, chickpea, barley, cowpea, lupine, soy protein and corn fiber (Serrem, 2010; Hyun-Jung et al., 2014). Acorn is an edible oval fruit of oak trees. This fruit is a rich source of carbohydrates, lipids, various sterols and vitamins (Ghaderi-Ghahfarrokhi et al., 2017). Plant proteins have been reported to have limiting amino acids and it is necessary to

combine these plant proteins in proportions to improve protein intake of consumers. Many processes are available to improve the nutritional quality of plant foods. These methods include traditional processing such as cooking, soaking, dewatering, smoking, salting, fermentation, germination etc (Okpala and Okoli, 2012). Okpala and Okoli (2012) mentioned that fermentation improves amino acid composition and vitamin content, and lowers levels of antinutrients. Okpala et al. (2013) reported that germination induces an increase in free limiting amino acids with modified functional properties of seed components. Despite their botanical availability, acorns are not widely used, and more research should be carried out to boost its potential applications (Vinha et al., 2016). On the other hand, no work has been reported on the effect of fermentation and germination

treatments on physicochemical and sensory properties of enriched biscuits with acorn flour. The current study was aimed to investigate the quality of enriched biscuits with natural, fermented and germinated acorn (*Quercus ilex* L.) flours.

2. MATERIAL AND METHODS

Material

All ingredients for biscuit preparation were purchased from local supermarket. Acorns (*Quercus ilex* L.) were collected during the month of October 2016 in Ichamoul region of Batna-northeast Algeria. Reagents and chemicals used in the experimental work were of analytical grade and were purchased from Sigma Co. (St. Louis, MO, USA). Materials

were stored at 4 °C until testing (Correia et al., 2009).

Methods

Fermentation and germination treatments

Treated acorns nuts by fermentation and germination processes were prepared according to Khattab and Arntfield (2009) and Sangronis and Machado (2007), respectively as described in Figure 1.

Acorn flour production

Natural and treated acorns were dried at temperature of 50±5 °C for 16-18 hrs, ground in laboratory mill and sieved (1 mm) to obtain fine homogeneous flours.

Flours were stored at 4 °C until analysis (Sangronis and Machado, 2007).

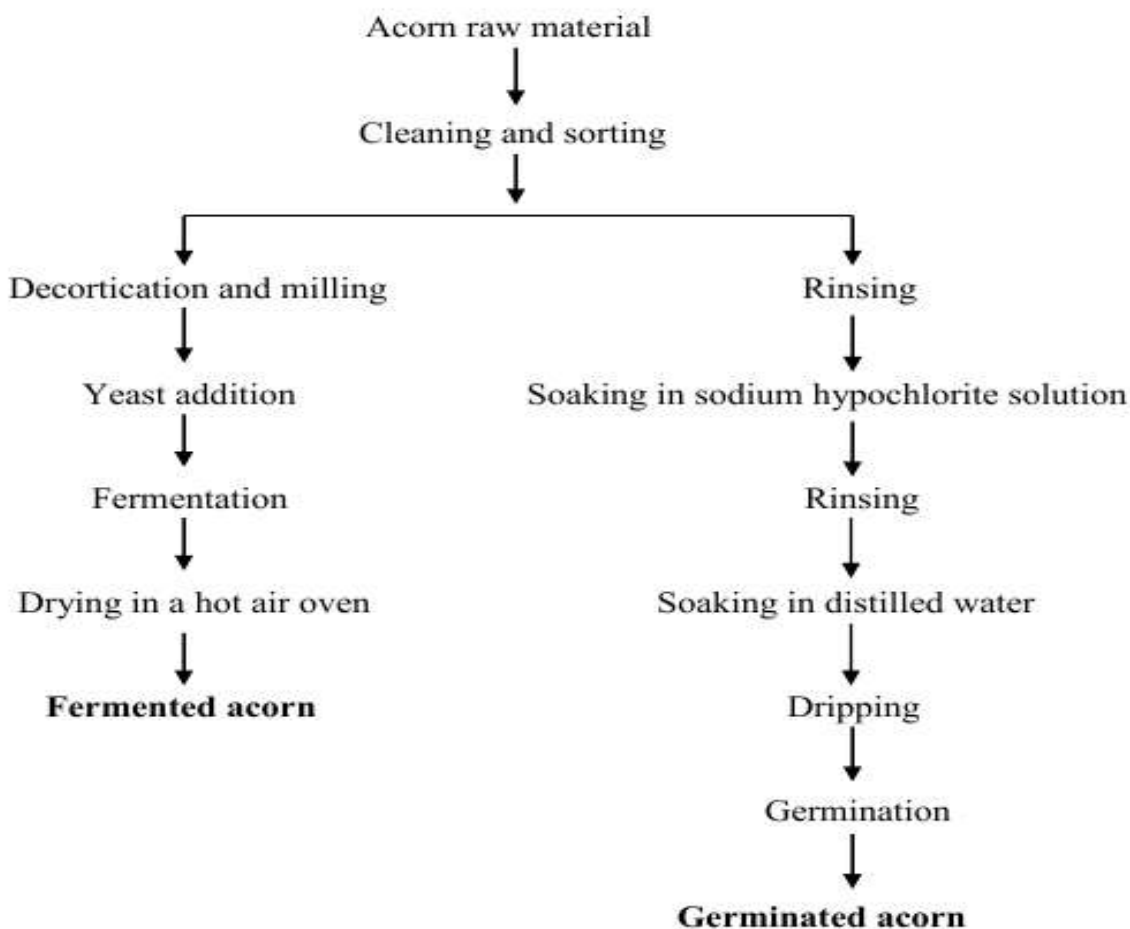


Fig. 1 : Fermentation and germination treatments of acorn

Biscuits preparation

Control and enriched biscuits with 10% supplementation level of natural, fermented and germinated acorn flours were prepared according to AACC (2000) (Method No. 10-50D) with slight modifications. The recipe contains 80.0 ± 2 g standard wheat flour, 35.0 ± 2 g grained sucrose, 20.0 ± 2 g hydrogenated vegetable shortening, 1.0 ± 2 g NaCl, 0.4 ± 2 g NH_4HCO_3 , 0.8 ± 2 g NaHCO_3 and 17.6 ± 2 mL of water. Biscuits dough was sheeted and cut into circular shapes using a cutter (Reddy et al., 2005). Control and enriched biscuits were baked in an electrical baking oven (Teba High-01 Inox) under convection conditions at 180°C for 15 ± 2 min (Fels-Klerx et al., 2014).

Physicochemical properties of biscuits

Diameter and thickness of biscuits were determined according to AACC Method 10-53 (AACC, 2000). Spread ratio was calculated using the ratio of width to thickness according to Youssef and Mousa (2012). Weight loss was determined according to Agrahar-Murugkar et al. (2015). Volume of biscuit was calculated as a function of radius and biscuit density was determined and expressed as g per cm^3 (Serrem, 2010). Measurement of upper surface color of biscuits was determined using Minolta chroma meter. Color value is based on L^* (lightness–darkness), a^* (redness–greenness) and b^* (yellowness–blueness) (Krystjjan et al., 2015). Results were used to calculate the browning index according to Sakin-Yilmazer et al. (2013). Control and enriched biscuits were analyzed for moisture and ash contents according to AACC Methods 44-19 and 40-70, by gravimetric method at 105°C and incineration at 550°C , respectively AACC (2000). pH was measured using a pH-meter Schott CG 843 with a combined electrode BlueLine 11 (Schott Geräte GmbH, Mainz, Germany) (Budryn et al., 2013). Starch content was determined by polarimetric method (Korus et al., 2015). Gluten was estimated by a Sodium hydroxide (NaOH) titration according to AACC Method 38-10 (AACC, 2000). Total titratable acidity was determined as described by Rizzello et al. (2010).

Sensory evaluation of biscuits

Sensory analysis of biscuits was carried out by 10 non-trained panelists from Food Sciences Laboratory in Food Technology Department. Evaluation attributes were appearance, color, texture, taste, odor and overall acceptability (Galla et al., 2017).

Statistical analysis

Results were expressed as mean \pm standard deviation. Statistical analysis was carried out with Duncan's multiple test ($P \leq 0.05$) (Hyun-Jung et al., 2014) using statistical software SPSS version 25.0 (SPSS Inc., Chicago, IL, USA) (Mogol and Gökmen, 2014).

3. RESULTS AND DISCUSSION

Physicochemical analysis of biscuits

Table 1 shows physical characteristics of biscuits. Substitution of wheat with acorn flour decreases significantly the weight of biscuits. Similarly, Serrem (2010) reported a reduction in weight of enriched biscuits with soy flour. Compared to enriched biscuits with natural acorn flour, weight and weight loss decreased in enriched biscuits with treated acorn flours. This may be explained by the high hydrophilicity of acorn proteins. This results in a reduction of total solids in dough and biscuits baked to lower weight (Serrem, 2010). Biscuits from wheat had the highest spread ratio (7.94). Difference in spread ratio depends on source of flours substitution (Hyun-Jung et al., 2014). It was observed that biscuits made with fermented acorn flour had the least diameter and spread ratio and the highest thickness than all prepared biscuits. Furthermore, an increase of biscuit volume was more pronounced when fermented acorn flour was added. Okpala et al. (2013) observed a similar trend in cookies made from fermented sorghum flour. This could be attributed to hydrophilic nature of fermented acorn flour, inducing a reduction in spread, thus leading to an increase in cookies thickness. It can be seen that biscuits density seemed to be affected by acorn flour addition (Table 1). Onacik-Gür et al. (2015) observed that usage of emulsifiers decreases the density

of biscuits. Figure 2 shows colour data of control and enriched biscuits. Enriched biscuits lightness (L^*) decreased compared to control biscuit. Similarly, Korus et al. (2015) mentioned a decrease in lightness (L^*) values of enriched bread with acorn flour. It was observed a general increasing trend in browning index (BI) values of enriched biscuits with acorn flours. This may be ascribed to polyphenoloxidases activity as a result of biscuit baking (Jimoh et al., 2009). Increase in moisture content of enriched biscuit with fermented acorn flour compared to enriched biscuit with natural acorn flour could be attributed to water addition to acorn prior to fermentation (Ojokoh and Bello, 2014). Moisture content increased in enriched biscuit with germinated acorn flour (Table 2). Hyun-Jung et al. (2014) reported that moisture content in cookies increased when it was prepared with germinated brown rice flour. Activated enzymes during germination induced the degradation of starch and protein into smaller sugars and peptides, respectively. Thus, raising osmotic pressure, and made cookies retaining relatively higher amounts of water (Hyun-Jung et al., 2014). Enriched biscuits with acorn flour contain high values of ash (1.78-1.81%). Similarly, Hegazy et al. (2014) found an increase in ash content of enriched

biscuits with chestnut (*Castanea sativa Mill.*) flour. This finding showed that addition of acorn flour in cereal products enhanced their nutritional values. pH decreased and total titrable acidity increased in enriched biscuits with fermented and germinated acorn flours due to the preliminary fermentation and germination of acorn flour. Rizzello et al. (2010) reported a decrease in pH and an increase in total titrable acidity of fermented wheat germ bread due to the presence of lactic and acetic acids. Enriched biscuits with acorn flours had lower starch content (Table 2). This decrease in starch content could be explained by the low carbohydrate content of flour. It could be seen that germination decreases significantly the carbohydrate content (Table 2). During germination, enzymes become active and α -amylase activity increases, catalyzing starch degradation, and consequently increasing the amount of small dextrin and fermentable sugars (Cornejo et al., 2015). Wet gluten content decreased significantly with acorn flour addition in biscuits (Table 2). This effect is a self-evident result from the substitution of wheat flour with acorn flour, reducing the amount of gluten in the composite flours. Korus et al. (2015) reported that acorn flour could be used to prepare gluten-free bakery products.

Table 1: Physical characteristics of biscuits.

Parameters	CB	BNAF	BFAF	BGAF
Weight (g)	9.77±0.005 ^a	9.52±0.01 ^b	9.37±0.005 ^c	9.13±0.01 ^d
Weight loss (%)	20.79±0.01 ^a	20.24±0.04 ^b	19.93±0.03 ^c	19.41±0.006 ^d
Diameter (cm)	4.21±0.005 ^a	4.20±0.02 ^b	4.16±0.005 ^c	4.18±0.005 ^d
Thickness (cm)	0.53±0.005 ^a	0.56±0.005 ^b	0.64±0.01 ^c	0.55±0.01 ^d
Spread ratio	7.94±0.007 ^a	7.51±0.008 ^{bd}	6.5±0.009 ^c	7.6±0.01 ^{db}
Volume (cm ³)	7.37±0.009 ^a	7.79±0.01 ^b	8.69±0.015 ^c	7.54±0.015 ^d
Density (g/cm ³)	1.32±0.0012 ^a	1.22±0.002 ^{bd}	1.07±0.0013 ^c	1.21±0.003 ^{db}

CB: control biscuit, BNAF, BFAF and BGAF: enriched biscuit with 10% of natural, fermented and germinated acorn flour, respectively. Superscript values with different letters in the same line indicate significant difference ($P \leq 0.05$) analyzed by Duncan's multiple range test.

Table 2: Physicochemical properties of biscuits.

Parameters	CB	BNAF	BFAF	BGAF
Moisture (%)	5.57±0.011 ^{ad}	5.19±0.01 ^{bc}	5.24±0.01 ^{cb}	5.50±0.2 ^{da}
DM (%)	94.43±0.011 ^{ad}	94.81±0.01 ^{bc}	94.76±0.01 ^{cb}	94.50±0.2 ^{da}
Ash (%)	1.61±0.01 ^a	1.79±0.01 ^{bd}	1.81±0.005 ^c	1.78±0.01 ^{db}
OM (%)	98.39±0.01 ^a	98.21±0.01 ^{bd}	98.19±0.005 ^c	98.22±0.01 ^{db}
pH	6.85±0.011 ^a	6.88±0.01 ^b	6.72±0.01 ^c	6.79±0.005 ^d
TTA (%)	0.136±0.001 ^{ab}	0.133±0.005 ^{ba}	0.148±0.0005 ^{cd}	0.142±0.002 ^{dc}
Starch (%)	68.08±0.015 ^a	61.03±0.011 ^b	59.4±0.2 ^c	51.9±0.1 ^d
WG (%)	37.13±0.015 ^a	33.09±0.01 ^b	33.18±0.015 ^c	33.29±0.01 ^d

DM: dry matter, OM: organic matter, TTA: totale titrable acidity, WG: wet gluten, CB: control biscuit, BNAF, BFAF and BGAF: enriched biscuit with 10% of natural, fermented and germinated acorn flour, respectively. Superscript values with different letters in the same line indicate significant difference ($P \leq 0.05$) analyzed by Duncan's multiple range test.

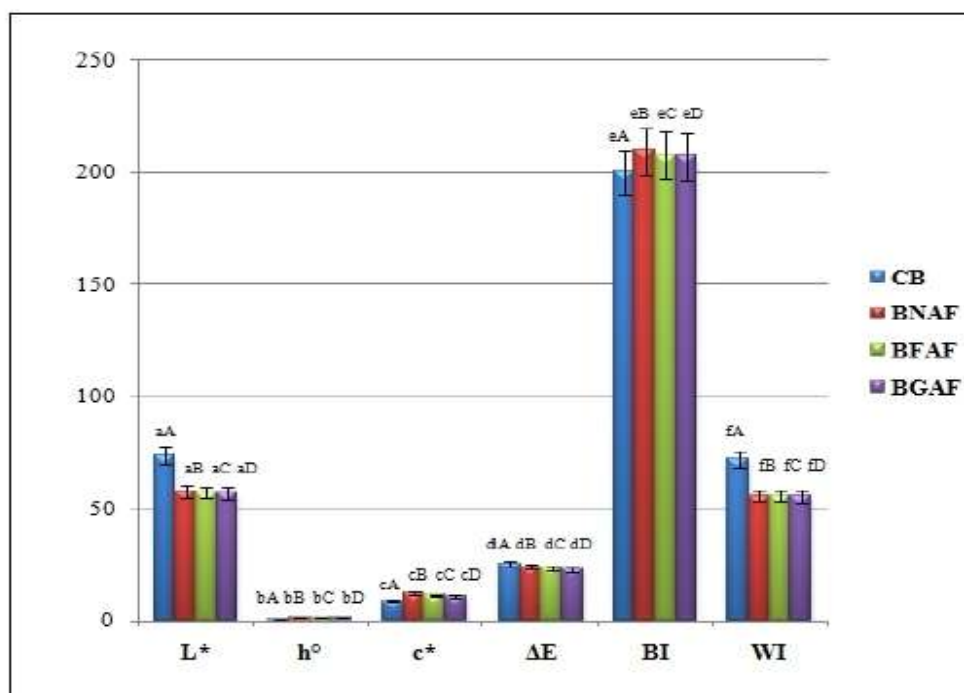


Fig 2: Colour of control and enriched biscuits

L* : leightness, h° : hue angle, c* : chromaticity, ΔE : total color change, BI : browning index, WI : wheitness index, CB : control biscuit, BNAF, BFAF an BGAF : enriched biscuit with natural, fermented and germinated acorn flour, respectively.

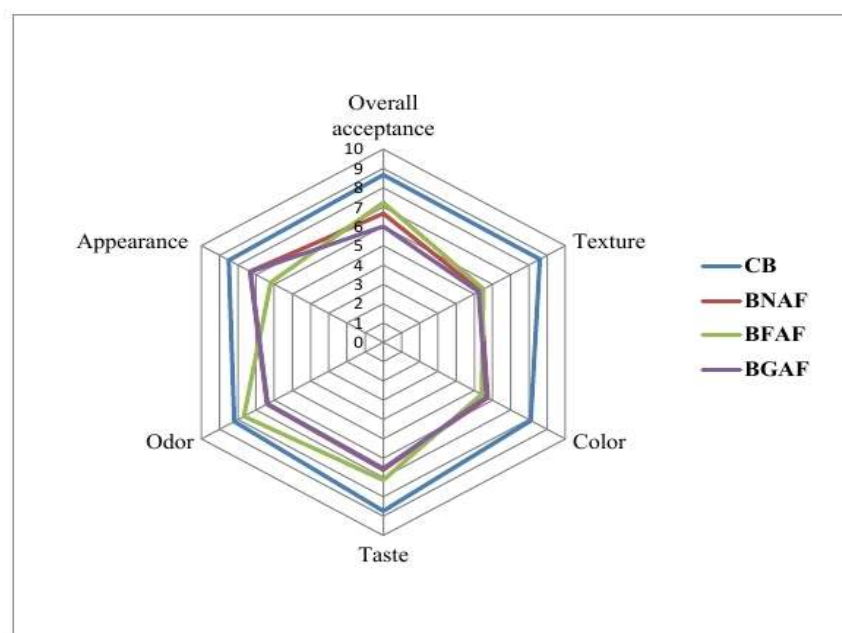


Fig 3: Spider diagram of sensory evaluation of biscuits

CB: control biscuit, BNAF, BFAF and BGAF: enriched biscuit with natural, fermented and germinated acorn flour, respectively. Scores are based on a 9-point hedonic scale with 1, dislike extremely; 5, neither like nor dislike; and 9, like extremely; number of panelists (n)=10.

Sensory evaluation of biscuits

The effect of adding acorn flour to wheat flour on sensory properties of biscuits was evaluated and presented in Figure 2. Biscuits made with wheat had the highest ratings for all tested sensory parameters. Hegazy et al. (2014) reported similar results. It was observed that replacement of wheat flour with germinated acorn flour affects significantly sensory properties of biscuit. Similarly, Okpala and Okoli (2012) found a decrease in sensory properties of enriched biscuits with germinated pigeon pea flour. Fermentation treatment may provide additional flavors to cookies which could enhance consumer's acceptability (Hyun-Jung et al., 2014). Ogunjobi and Ogunwolu (2010) reported that acidic pH of supplemented biscuits with cashew apple powder is associated with the development of a pleasant taste of biscuits.

3. CONCLUSION

Foods with healthy benefits need to have high sensory acceptance in order to be consumed.

Acorn flour might be used to prepare gluten free biscuits characterized with high nutritive value. Fermentation treatment seems to be a natural and sustainable way to improve sensory properties of enriched biscuits with acorn flour.

Acknowledgement

Food Science Laboratory technicians are thanked for their assistance throughout the preparation of this work.

4. REFERENCES

- [1] Heinio, R.L., Noort, M.W.J., Katina, K., Alam, S.A., Sozer, N., de Kock, H.L., Hersleth, M. and Poutanen, K. (2016). Sensory characteristics of wholegrain and bran-rich cereal foods e A review. *Trends in Food Science and Technology*, **47**: 25-38.
- [2] Vujic, L., Cepo, D.V. and Dragojevic, I.V. (2015). Impact of dietetic tea biscuit formulation on starch digestibility and selected nutritional and sensory characteristics. *LWT - Food Science and Technology*, **62**: 647-653.
- [3] Ktenioudaki, A. and Gallagher, E. (2012). Recent advances in the development of high-fibre baked products (review). *Trends in Food Science and Technology*, **28**: 4-14.
- [4] Serrem, C.A. (2010). Development of soy fortified

- sorghum and bread wheat biscuits as a supplementary food to combat protein energy malnutrition in young children. Doctoral thesis. Department of Food Science. Faculty of Natural and Agricultural Sciences, University of Pretoria, South Africa.
- [5] Hyun-Jung, C., Ahra, C. and Seung-Taik, L. (2014). Utilization of germinated and heat-moisture treated brown rices in sugar-snap cookies, *LWT - Food Science and Technology*, **57**: 260-266.
- [6] Ghaderi-Ghahfarrokhi, M., Sadeghi-Mahoonak, A.R., Alami, M. and Mousavi, K. (2017). Effect of processing treatments on polyphenol removal from kernel of two Iranian acorns varieties. *International Food Research Journal*, **24**(1): 86-93.
- [7] Okpala, L.C. and Okoli, E.C. (2012). Development of cookies made with cocoyam, fermented sorghum and germinated pigeon pea flour blends using response surface methodology. *Journal of Food Sciences and Technology*, **51**(10): 2671-2677.
- [8] Okpala, L., Okoli, E. and Udensi, E. (2013). Physico-chemical and sensory properties of cookies made from blends of germinated pigeon pea, fermented sorghum, and cocoyam flours. *Food Science and Nutrition*, **1**(1): 8-14.
- [9] Vinha, A.F., Barreira, J.C.M., Costa, A.S.G. and Oliveira, M.B.P.P. (2016). ANewAge for *Quercus* spp. Fruits: Review on nutritional and phytochemical composition and related biological activities of acorns. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, **15**: 947-981.
- [10] Correia, P.R., Leitaõ, A.E. and Beiraõ-da-Costa, M.L. (2009). Effect of drying temperatures on chemical and morphological properties of acorn flours. *International Journal of Food Science and Technology*, **44**: 1729-1736.
- [11] Khattab, R.Y. and Arntfield, S.D. (2009). Nutritional quality of legume seeds as affected by some physical treatments 2. Antinutritional factors, *LWT - Food Science and Technology*, **42**: 1113-1118.
- [12] Sangronis, E. and Machado, C.J. 2007. Influence of germination on the nutritional quality of *Phaseolus vulgaris* and *Cajanus cajan*. *LWT*, **40**: 116-120.
- [13] A.A.C.C. (2000). Official Methods of Analysis. American Association of Cereal Chemistry. (9th edition), St. Paul., Minnesota, U.S.A.
- [14] Reddy, V., Urooj, A. and Kumar, A. (2005). Evaluation of antioxidant activity of some plant extracts and their application in biscuits. *Food Chemistry*, **90**: 317-321.
- [15] Fels-Klerx, V.D.H.J., Capuano, E., Nguyen, H.T., Mogol, A.B., Kocadağlı, T., Taş, G.N., Hamzaloğlu, A., Boekel, V.M.A.J.S. and Gökmen, V. (2014). Acrylamide and 5-hydroxymethylfurfural formation during baking of biscuits: NaCl and temperature-time profile effects and kinetics. *Food Research International*, **57**: 210-217.
- [16] Youssef, H.M.K.E. and Mousa, R.M.A. (2012). Nutritional Assessment of Wheat Biscuits and Fortified Wheat Biscuits with Citrus Peels Powders. *Food and Public Health*, **2**(1): 55-60.
- [17] Agrahar-Murugkar, D., Gulati, P., Kotwaliwale, N. and Gupta, C. (2015). Evaluation of nutritional, textural and particle size characteristics of dough and biscuits made from composite flours containing sprouted and malted ingredients. *Journal of Food Science and Technology*, **52**(8): 5129-5137.
- [18] Krystyjan, M., Gumul, D., Ziobro, R. and Korus, A. (2015). The fortification of biscuits with bee pollen and its effect on physicochemical and antioxidant properties in biscuits. *LWT - Food Science and Technology*, **6**: 640-646.
- [19] Sakin-Yilmazer, M., Kemerli, T., Isleroglu, H., Ozdestan, O., Guven, G., Uren, A. and Kaymak-Ertekin, F. (2013). Baking kinetics of muffins in convection and steam assisted hybrid ovens (baking kinetics of muffin. . .). *Journal of Food Engineering*, **119**: 483-489.
- [20] Budryn, G., Żyżelewicz, D., Nebesny, E., Oracz, J. and Krysiak, W. (2013). Influence of addition of green tea and green coffee extracts on the properties of fine yeast pastry fried products, *Food Research International*, **50**: 149-160.
- [21] Korus, J., Witczak, M., Rafał, Z. and Juszcak, L. (2015). The influence of acorn flour on rheological properties of gluten-free dough and physical characteristics of the bread. *European Food Research and Technology*, **240**: 1135-1143.
- [22] Rizzello, C.G., Nionelli, L., Coda, R., Di Cagno, R. and Gobbetti, M. (2010). Use of sourdough fermented wheat germ for enhancing the nutritional, texture and sensory characteristics of the white bread. *European Food Research and Technology*, **230**: 645-654.
- [23] Galla, N.R., Pamidighantam, P.R., Karakala, B., Gurusiddaiah, R.M. and Akula, S. (2007). Nutritional, textural and sensory quality of biscuits supplemented with spinach (*Spinacia oleracea* L.). *International Journal of Gastronomy and Food Science*, **7**: 20-26.
- [24] Mogol, B.A. and Gökmen, V. (2014). Mitigation of acrylamide and hydroxymethylfurfural in biscuits using combined partial conventional baking and vacuum post-baking process: Preliminary study at the lab scale. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, **26**: 265-270.
- [25] Onacik-Gür, S., Żbikowska, A. and Jaroszewska, A. (2015). Effect of high-oleic sunflower oil and other pro-health ingredients on physical and sensory properties of biscuits. *CyTA-Journal of Food*, **13**(4): 621-628.
- [26] Jimoh, K.O., Olurin, T.O. and Aina, J.O. (2009). Effect of drying methods on the rheological

- characteristics and colour of yam flours. *African Journal of Biotechnology*, **8**(10): 2325-2328.
- [27] Ojokoh, A. and Bello, B. (2014). Effect of Fermentation on Nutrient and Anti-nutrient Composition of Millet (*Pennisetum glaucum*) and Soyabean (*Glycine max*) Blend Flours. *Journal of Life Sciences*, **8**(8): 668-675.
- [28] Hegazy, N.A., Kamil, M.M., Hussein, A.M.S. and Bareh, G.F. (2014). Chemical and technological properties of improved biscuit by chestnut flour. *International Journal of Food and Nutritional Sciences*, **3**(6): 7-15.
- [29] Cornejo, F., Caceres, P.J., Martinez-Villaluenga, C., Rosell, C.M. and Frias, J. (2015). Effects of germination on the nutritive value and bioactive compounds of brown rice breads. *Food Chemistry*, **173**: 298-304.
- [30] Ogunjobi, M.A.K. and Ogunwola, S.O. (2010). Physicochemical and sensory properties of cassava flour biscuits supplemented with cashew apple powder. *Journal of Food Technology*, **8**(1): 24-29.



QUALITY CHARACTERISTICS OF BISCUIT PREPARED FROM WHEAT AND MILK THISTLE SEEDS (*SILYBUM MARIANUM* (L) GAERTN) FLOUR

Amina Menasra^{1*} and Djamel Fahloul¹

¹Laboratory of Food Science (LSA), Department of Food Technology, Institute of Veterinary Sciences and Agronomic Sciences, University Hadj Lakhdar -Batna 1- (UHBI), Algeria.
*menasraamina@gmail.com

<https://doi.org/10.34302/crpjfst/2019.11.4.1>

Article history:

Received:

9 February 2019

Accepted:

28 September 2019

Keywords:

Biscuit;

Enrichment;

Milk thistle;

Properties.

ABSTRACT

Milk thistle (*Silybum marianum*) is a rich source of ingredients, such as minerals, aminoacids, fatty acids and phytochemicals exhibiting nutraceutical effects on human health. In this work, roasted milk thistle seeds flour was replace wheat flour to improve biscuit quality. The influence of 10% addition of milk thistle seeds flour on biscuit quality was studied by analyzing the physicochemicals and sensory properties in order to further exploit the functionality of milk thistle seeds in bakery products. Comparing control and enriched biscuits, we see major differences in terms of quality. Enriched biscuit has a smaller values of weight (6.63g), of spread ratio (6.38) and of density (0.49 g/cm³), with a bigger volume (13.48 cm³), a dark crust (L* : 64.43), a slight milk thistle seeds taste, and with an important nutritional intake (ash : 2.33%, starch : 60.69%, gluten : 28.23%). Finally, Milk thistle seeds flour can be used for biscuit enrichment.

1.Introduction

Bakery products are one of the most profitable segments in supermarket retailing. Biscuits are convenient food products, becoming very popular among both rural and urban populations of worldwide. Some of the reasons for such wide popularity are low cost among other processed foods, varied taste, easy availability and longer shelf life (Dayakar Rao and Bhargavi, 2017).

Over the years, a number of studies have been reported to improve nutritive value of biscuits by incorporating bean, sesame seeds, chickpea, barley, cowpea, lupine, soy protein and corn fiber (Serrem, 2010; Hyun-Jung et al., 2014).

Milk thistle seeds are better known as having medicinal benefits. Milk thistle is used internally in the treatment of liver and gall bladder diseases, jaundice, cirrhosis, hepatitis and poisoning (Aliyas, 2015). Numerous studies

have shown that seeds are rich in proteins, lipids and total carbohydrates (Abu Jadayil et al. 1999; Abd Raboh, 2012). Milk thistle seeds can be used as food. It is a great tonic, increases appetite and aids in digestion. Seeds of milk thistle is a good source of minerals. Presences of rich amount of calcium and magnesium are a special feature (Aliyas, 2015). The importance of milk thistle seeds in human nutrition will also increase, as growing number of consumers are looking for products with pro-health properties (Andrzejewska et al., 2015). Up to now, information on incorporation of milk thistle seeds flour in bakery products is scarce (Aliyas, 2015). The addition of milk thistle may be a little-known for its properties (Brodowska et al., 2014). Apostol et al. (2017) was study the properties of the mixture of wheat and milk thistle seeds flours. Moreover, Sadowska (2006) and Shahat et al. (2016) were examined the effect of milk thistle adding on

bread quality. Furthermore, Brodowska *et al.* (2014) reported that the levels of silymarin added were selected to be not higher than 10% of medicinal dose.

However, no work has been done on the effect of milk thistle seeds (*Silybum marianum* (l) Gaertn) flour addition on biscuit quality.

The objective of this work was to characterize the mixture of wheat and milk thistle seeds flours through evaluation of physicochemical and sensory properties of biscuit, which are main quality attributes of this mixture for use in bakery. Moreover, different properties of prepared biscuits were compared using principal component analysis method (PCA).

2. Materials and methods

2.1. Materials

Soft wheat flours (72%) were obtained from Aures Flour Mills Company, Batna city-Algeria. Milk thistle seeds (*Silybum marianum* (l) Gaertn) were collected in Bouhmar region of Batna city, located in northeast of Algeria, during 2017 Autumn season. Hydrogenated vegetable shortening, grained sucrose, salt, Ammonium bicarbonate (NH_4HCO_3), Sodium bicarbonate (NaHCO_3) and mineral water were obtained from supermarket. Biscuit ingredient and milk thistle seeds were stored at 4°C until testing. All reagents and chemicals used in the experimental work were of analytical grade and were purchased from Sigma Co. (St. Louis, MO, USA).

2.2. Methods

2.2.1. Milk thistle seeds flour preparation

Milk thistle seeds were roasted in a convention electric oven (R-5550, Sharp, Osaka, Japan) for 7 minutes at $130 \pm 2^\circ\text{C}$ (degree celsius) (Pandey and Awasthi, 2015). The roasted milk thistle seeds were grounded in laboratory mill and sieved (one millimeter), to obtain a fine homogeneous flours. Samples were stored at 4°C until analysis.

2.2.2. Physicochemical and functional properties of wheat and milk thistle seeds flours

Moisture content was determined according to AACC Method 44 19.01 (AACC, 2000). Ash content was measured according to AACC Method 930.22 using muffle furnace at $450\text{--}500^\circ\text{C}$ (AACC, 2000). Flours were characterized for pH according to AACC Method 02-52 (AACC, 2000). Total titratable acidity (TTA) was determined by a Sodium hydroxide (NaOH) titration according to AOAC (2005). Total starch content was measured by polarimetric method (Korus *et al.*, 2015). Color of flour was determined according to Francis (1998).

Bulk density was determined as described by Chinma *et al.* (2009). Water and oil absorption capacities were measured as determined by Zouari *et al.* (2016). Emulsifying and foaming capacity were defined as described by Elkhalfifa and Bernhardt (2010). Swelling capacity was measured as determined by Mateos-Aparicio *et al.* (2010).

2.2.3. Biscuit preparation

Control and enriched biscuit with 10% supplementation level of milk thistle seeds flour were prepared according to AACC Method 10.50 with slight modifications (AACC, 2000). The recipe contains 80.0 ± 2 g standard wheat flour, 35.0 ± 2 g (gram) grained sucrose, 20.0 ± 2 g hydrogenated vegetable shortening, 1.0 ± 2 g Sodium chloride (NaCl), 0.4 ± 2 g Ammonium bicarbonate (NH_4HCO_3), 0.8 ± 2 g Sodium bicarbonate (NaHCO_3) and 17.6 ± 2 mL (milliliter) of water. Biscuits dough was sheeted and cut into circular shapes using a cutter (Reddy *et al.*, 2005).

2.2.4. Biscuit baking

Control and enriched biscuits were baked in an electrical baking oven (Teba High-01 Inox) under convection conditions at 180°C for 15 ± 2 minutes (Sakin *et al.*, 2007).

2.2.5. Physicochemical properties of biscuits

Control and enriched biscuits with 10% supplementation level of milk thistle seeds flour were analyzed for moisture and ash contents according to AACC Methods 44-19 and 40-70, by gravimetric method at 105 °C and incineration at 550 °C, respectively (AACC, 2000). pH determination was carried by mixing 5g of biscuit sample with 100 ml of freshly boiled distilled water (cooled to a temperature of 40±5°C). The mixture was left for 1h (hour), with regular mixing every 15 minutes. Afterward, pH was measured using a pH-meter Schott CG 843 with a combined electrode BlueLine 11 (Schott Geräte GmbH, Mainz, Germany) (Budryn et al., 2013). Total titratable acidity was determined as described by Rizzello et al. (2010). Starch content was measured by polarimetric method (Korus et al., 2015). Gluten was estimated by a Sodium hydroxide (NaOH) titration according to AACC Method 38-10 (AACC, 2000). Measurement of upper surface color of biscuits was carried out using a colorimeter (CR-10, Konica Minolta Sensing Inc., Osaka, Japan). Results were expressed using the CIELab system. The following parameters were determined: leightness ($L^* = 0$ black, $L^* = 100$ white), redness ($a^* < 0$: green, $a^* > 0$: red), yellowness ($b^* < 0$: blue, $b^* > 0$: yellow). Total color change (ΔE), was calculated from the following equation taking dough color as a reference, denoted by L_0^* , a_0^* and b_0^* :

$$\Delta E = [(L^* - L_0^*)^2 + (a^* - a_0^*)^2 + (b^* - b_0^*)^2]^{1/2} \quad (1)$$

hue angle (h°) and chroma (c^*) of biscuits were determined. Three measurements per cookie were taken and reported as average (Sakin-Yilmazer et al. 2013). Results were used to calculate the browning index (BI value) from equation (2):

$$BI = \frac{[100 \times (\frac{a+1.79L}{5.645L+a-3.012b}) - 0,31]}{0,17} \quad (2)$$

Whiteness index (WI) values of biscuits were measured as described by Zucco et al. (2011) as follows:

$$WI = 100 - \sqrt{(100 - L^*)^2 + a^2 + b^2} \quad (3)$$

2.2.6. Physicals dimensions of biscuits (baking quality)

Diameter (width) and thickness of biscuits were determined according to AACC Method 10-53 (AACC, 2000). Spread ratio was calculated according to Youssef and Mousa (2012) using the following equation:

$$\text{Spread ratio} = \frac{\text{diameter}}{\text{thickness}} \quad (4)$$

Weight loss (WL) during baking was measured using the following equation:

$$WL = \frac{(W_{\text{dough}} - W_{\text{biscuit}})}{W_{\text{dough}}} \times 100 \quad (5)$$

Where, W is biscuits weight (g) (Agrahar-Murugkar et al., 2015). Volume (V) in cubic centimeter (cm^3) was calculated as a function of radius (r) (Serrem, 2010):

$$V (\text{cm}^3) = r^2 \times \text{thickness} \times 3.14 \quad (6)$$

Biscuits density was determined and expressed as g per cm^3 (Serrem, 2010; Sozer et al., 2014):

$$D \left(\frac{\text{g}}{\text{cm}^3}\right) = \frac{\text{mass}}{\text{Volume}} \quad (7)$$

2.2.7. Sensory evaluation of biscuits

Sensory analysis of biscuits was carried out by 10 non-trained panelists from Food Sciences Laboratory in Food Technology Department. Samples presentation to panelists was at random and one at a time. Panelists were given enough water to rinse their mouths between each serve (Galla et al., 2007). Sensory evaluation was carried out on control and enriched biscuits.

Evaluated attributes were appearance, color, texture, taste, odor and overall acceptability. For each sample, panelists scored their liking of characteristics using nine point hedonic scale (Agrahar-Murugkar et al., 2015). Panelists scored for different properties with a maximum score of 9 for like extremely, 8-like very good, 7-like good, 6-like moderately, 5-neither like nor dislike, 4-dislike moderately, 3- dislike fairly, 2-dislike very much and 1 for dislike extremely (Galla et al., 2007).

2.2.8. Statistical analysis

The experimental data collected in triplicate was analyzed for significant differences with the help of analysis of variance (ANOVA) conducted using SPSS 25.0 software (SPSS Inc., Chicago, IL, USA) (Barak et al., 2014; Mogol and Gökmen, 2014). Furthermore, a principal component analysis (PCA), which is a multivariate approach designed for multicorrelated data, was performed to visualize possible relationships within data matrix. To decide the number of principal components (PCs), the eigenvalues of the correlation matrix, indicating the percentage of variability explained by each component, were tabulated and a scree plot was constructed (Aponte et al., 2014). Principal Component Analysis (PCA) of biscuits properties was completed by statistical software, STATISTICA version 10.0 (StatSoft, France) (Onacik-Gür et al., 2015).

3. Results and discussions

3.1. Physicochemical and functional properties of flours

Physicochemical and functional properties of wheat and milk thistle seeds flours are presented in Table 1. Moisture content of flours was found to lie in the acceptable limits (0-13%). Values lie within the limits that enable safe storage (Yusuf et al., 2008). The level of moisture content of wheat flour (9.48%) is close to that obtained amount (10.23%) by Oppong et al. (2015) of soft wheat flour. The moisture content of milk thistle seeds flour was the lowest (7.53%) and was significantly ($P \leq 0.05$) different from wheat flour (Table 1). Abu Jadayil et al. (1999) found that milk thistle seeds contained 5.8% of moisture. Calculated moisture content by Awad-Allah (2013) of pine nut meal is 7.9%.

Wheat flour had low ash content (0.99%). This value is close to that reported (1%) by Oppong et al. (2015). Milk thistle flour contained 3.1% of ash content. Abu Jadayil et al. (1999) found that milk thistle seeds contains 4.8% of ash.

Wheat flour had the highest carbohydrates content (75.76%). This result is close to that found (77.9%) by Ragae et al. (2006). Milk thistle seeds flour contained 51.4% of total carbohydrates. Abu Jadayil et al. (1999) found a low values (24.3% and 10%) of carbohydrate in milk thistle and sesame seeds flours, respectively.

Table 1. Physicochemical and functional properties of wheat and milk thistle seeds flours.

Parameters	Wheat flour	Thistle milk seeds flour
Moisture (%)	9.48±0.0057 ^{aA}	7.53±0.0058 ^{aB}
Dry matter (%)	90.52±0.0057 ^{abcA}	92.47±0.0058 ^{aB}
Ash (%)	0.99±0.011 ^{abcA}	3.1±0.057 ^{aB}
Organic matter (%)	99.01±0.011 ^{abcA}	96.9±0.057 ^{aB}
Total starch (%)	75.76±0.0057 ^{bcA}	51.4±0.1 ^{aB}
Color	99.6±0.058 ^{cA}	72.8±0.1 ^{aB}
Bulk density (g/cm ³)	0.72±0.008 ^{abcA}	0.08±0.01 ^{aB}
Water absorption capacity (g/g)	1.50±0.002 ^{aA}	1.01±0.01 ^{aB}
Oil absorption capacity (g/g)	1.03±0.03 ^{aAB}	0.99±0.0057 ^{aAB}
Emulsion capacity (%)	62.2±0.3 ^{abcA}	42.69±0.015 ^{aB}

Foam capacity (%)	13.53±0.035 ^{bA}	4.4±0.4 ^{aB}
Swelling capacity (%)	7.50±0.4 ^{aA}	6.73±0.0057 ^{aB}

Values followed by different letters (lower-case letters in the same column, and upper-case letters in the same line) are significantly different at 5% level of significance ($\alpha < 0.05$).

Color value of wheat flour (99.63) is higher than milk thistle seeds flour (72.8). Milk thistle seeds flour was darker than wheat flour (WF). Eke- Ejiofor *et al.* (2014) reported that jackfruit seeds flour had a color equal 74.79%. Flour extracted under perfect conditions is pure white in color and it is an important criterion for flour quality (Eke- Ejiofor *et al.*, 2014).

Bulk density of wheat flour (0.72 g/cm³) is close to that reported by Baljeet *et al.* (2014) (0.70 g/cm³). Obtained bulk density (0.08 g/cm³) of milk thistle seeds flour was lower than wheat flour. The low bulk density of flour could be attributed to the relatively lower protein content (gluten-free) (Korus *et al.*, 2015; Oppong *et al.*, 2015).

Wheat flour had a higher water absorption capacity (1.50 g/g) than milk thistle seeds flour (1.01 g/g). Water absorption capacity of wheat flour is similar to that reported (1.50 g/g) by Oppong *et al.* (2015). Awad-Allah (2013) found water absorption capacity of pine nut meal equal 1.4 g/g. Flour with high water absorption capacity would be useful in foods such as bakery products which require hydration to improve handling features (Oppong *et al.* (2015).

Wheat flour had a higher oil absorption capacity (1.03 g/g) compared to milk thistle seeds flour (0.99 g/g). Oil absorption capacity of wheat flour is similar to that found (1 g/g) by Oppong *et al.* (2015). Awad-Allah (2013) reported oil absorption capacity of pine nut and walnut meals equal 1.3 and 1.2 ml/g, respectively. Flour with high oil absorption capacity could be useful in food formulation where oil holding capacity is needed such as sausage and bakery products (Oppong *et al.* (2015).

Emulsion capacity of wheat flour (62.2%) is lower than found (42.77%) by Zouari *et al.* (2016). Milk thistle flour had a lower emulsion capacity (42.69%). Awad-Allah (2013)

mentioned emulsion capacity of pine nut meal equal 63.6 ml/g.

Wheat flour had a higher foam capacity (13.53%). This result is close to that found (13.19%) by Zouari *et al.* (2016). Foam capacity (FC) of milk thistle seeds flour is 4.4%. The higher value of foam properties might be due to the high starch content (Awad-Allah, 2013). Foam capacity is important for flour used in many leavening food products such as baked goods, cakes and biscuits (Elkhalifa and Bernhardt, 2010).

Wheat flour had the higher value of swelling capacity (7.50 ml/g). This result is similar to that found by Oppong *et al.* (2015). Swelling power of milk thistle seeds flour is 6.73%. Flour with high swelling capacity could be useful in food systems where swelling is required (Oppong *et al.*, 2015).

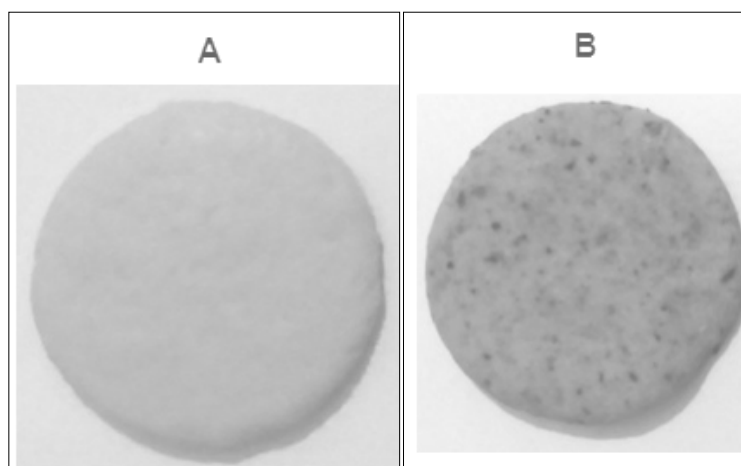
3.2. Physical dimensions of biscuits (baking quality)

Results of various physical dimensions of biscuits are shown in Table 2. Control biscuit had a higher values of weight (7.17g) and weight loss (15.25%) than enriched biscuit with milk thistle seeds flour. Serrem (2010) found a reduction in weight of enriched biscuit with soy flour. The reduction of total solids in dough results biscuit has lower weight (Serrem, 2010). Control biscuit had the highest spread ratio (7.24). When more free water exists, internal dough viscosity becomes lower and thus spread factor of baked cookies increased (Hyun-Jung *et al.*, 2014). Difference in spread ratio depends on source of flours substitution. Cookies having higher spread ratio are considered the most desirable (Hyun-Jung *et al.*, 2014). It can be seen that biscuits density seemed to be affected by milk thistle flour addition (0.49 g/cm³). Density is considered the best index of sensory texture of biscuits (Mamat and Hill, 2014).

Table 2. Physicochemical properties of biscuits.

Parameters	CB	BTMSF
Weight (g)	7.17±0.02 ^{dA}	6.63±0.152 ^{dB}
Weight loss (%)	15.25±0.042 ^{fA}	14.11±0.32 ^{gB}
Diameter (mm)	48.03±0.1527 ^{iAB}	47.86±0.152 ^{jAB}
Thickness (mm)	6.63±0.1527 ^{dA}	7.5±0.2 ^{eB}
Volume (cm ³)	12.015±0.353 ^{eA}	13.48±0.342 ^{fB}
Spread ratio	7.24±0.142 ^{dA}	6.38±0.178 ^{dB}
Density (g/cm ³)	0.59±0.0157 ^{cA}	0.49±0.02 ^{cB}
Moisture (%)	4.76±0.057 ^{oA}	4.43±0.115 ^{pB}
Dry matter (%)	95.24±0.057 ^{bA}	95.57±0.115 ^{bB}
Ash (%)	1.25±0.1 ^{pA}	2.33±0.20 ^{qB}
Organic matter (%)	98.75±0.1 ^{dA}	97.67±0.02 ^{dB}
pH	6.61±0.02 ^{aA}	6.38±0.02 ^{aB}
TTA (%)	0.25±0.01 ^{kA}	0.33±0.0152 ^{lB}
Starch (%)	66.78±0.01 ^{gA}	60.69±0.01 ^{hB}
Dry gluten (%)	32.33±0.02 ^{lA}	28.23±0.152 ^{mB}
L [*]	74.033±0.57 ^{hA}	64.43±0.30 ^{iB}
c [*]	36.87±0.095 ^{nA}	30.096±0.072 ^{oB}
h [°]	85.76±0.152 ^{mA}	84.76±0.152 ^{nB}
ΔE	82.71±0.554 ^{qA}	71.11±0.25 ^{rB}
BI	248.99±0.702 ^{jA}	254.66±0.553 ^{kB}
WI	54.89±0.264 ^A	53.40±0.27 ^B

TTA: total titratable acidity, L^{*} : leightness, c^{*} : chromaticity, h[°] : hue angle, ΔE : total color change, BI : browning index, WI : whiteness index, CB: control biscuit, BTMSF: enriched biscuit with milk thistle seeds flour. Values followed by different letters (lower-case letters in the same column, and upper-case letters in the same line) are significantly different at 5% level of significance ($\alpha < 0.05$).

**Figure 1.** Control biscuit (A) and enriched with milk thistle seeds flour (B).

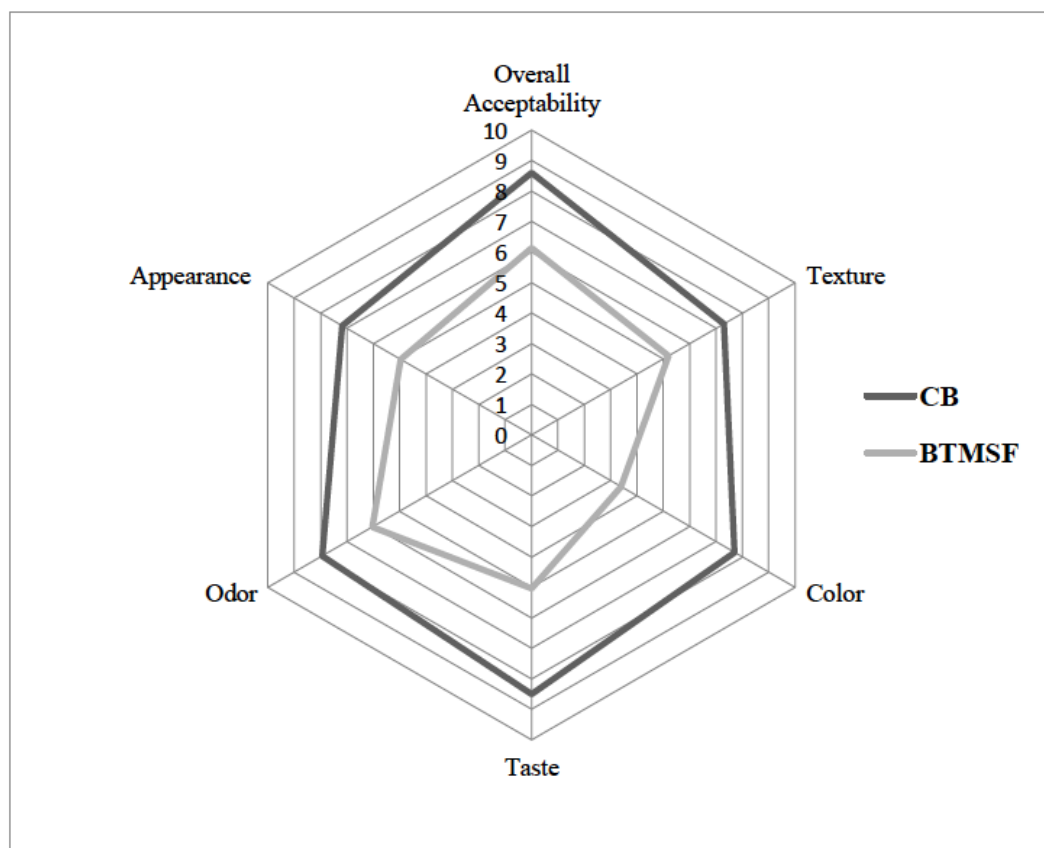


Figure 2. Spider diagram of sensory evaluation of biscuits.

CB: control biscuit, BTMSF : enriched biscuit with milk thistle seeds flour. Scores are based on a 9-point hedonic scale with 1, dislike extremely; 5, neither like nor dislike; and 9, like extremely; number of panelists (n)=10.

Brodowska *et al.* (2014) reported that added doses of 0.16 g, 0.33 g and 0.56 g/100 g of milk thistle fruit did not influence physical properties of wheat dough of bread. Also, the levels of silymarin added were selected to be not higher than 10% of medicinal dose (Brodowska *et al.*, 2014).

3.3. Physicochemical properties of biscuits

Table 2 shows physicochemical properties of control and enriched biscuits. Enriched biscuit with milk thistle seeds flour had lower moisture content (4.43%) than control biscuit (4.76%). This is due to lowest moisture content of milk thistle seeds flour compared to wheat flour (Table 1). The reduction of total solids in dough results biscuit has lower weight (Serrem, 2010).

Enriched biscuit with milk thistle seeds flour contain a higher value of ash (2.33%). Difference in ash content between control and enriched biscuits is certainly due to flour quality. Serrem (2010) found an increase in ash content of enriched biscuit with soy flour. Ash content of biscuit could be raised if milk thistle seeds flour is incorporated. This finding showed that addition of milk thistle flour in cereal products enhanced their nutritional values.

Found pH values are very close (Table 2). This confirms acidity results which also showed a slight difference. pH decreased and total titratable acidity was slightly increased in enriched biscuit with milk thistle seeds flour. Rizzello *et al.* (2010) reported a decrease in pH with an increase in total titratable acidity of

prepared bread with fermented wheat germ flour.

Enriched biscuit with milk thistle flour had a lower starch content (Table 2). This decrease in starch content could be explained by the low carbohydrate content of flour. Similarly, Serrem (2010) found a decrease in starch content of enriched biscuit with soy flour.

Low value of dry gluten content was found in enriched biscuit with milk thistle seeds flour compared to control biscuit. This effect is a self-evident result from the substitution of wheat flour with milk thistle flour. Similarly, Hallén et al. (2004) found a decrease in gluten content of enriched biscuit with cowpea flour.

Cookies color was generated mainly during baking process from Maillard reaction between reducing sugars and protein (Hyun-Jung et al., 2014). Substituting wheat flour with milk thistle seeds flour in biscuit formulation affects significantly surface color of biscuit. Biscuit crust became brown with milk thistle flour addition (Figure 1). Thus, enriched biscuit had a low value of leightness (L^* : 64.43) compared to control biscuit. Similarly, Sozer et al. (2014) mentioned that biscuit became darker with bran flour adding. Color difference (ΔE^* : 71.11) decreased but chromaticity (c^* : 30.096) and hue angle (h° : 84.76) values increased when milk thistle seeds flour added to biscuit. These results are similar to thoses reported by Hegazy et al. (2014) for enriched biscuits with chestnut flour. Enriched biscuit had a higher value of browning index (BI: 254.66) compared to control biscuit. Acrylamide formation and concentration during biscuit baking was generally reported to have correlation with brown surface formation (Sakin-Yilmazer et al., 2013). Thermal degradation of originally colourless complex polyphenols to coloured phenols during baking increases browning index (BI) of enriched biscuit. The increase in brown index of enriched biscuit with milk thistle seeds flour may be ascribed to polyphenoloxidases activity as a result of biscuit baking (Jimoh et al., 2009). Whiteness index decreased in enriched biscuit with milk thistle seeds flour (WI: 53.40). Similarly, Zucco et al. (2011) observed a

reduction in whiteness index values of cookies as the level of pulse flour substitution increased. Also, Ostermann-Porcel et al. (2017) found a reduction of whiteness index (WI) of enriched cookies with okara flour. The higher the whiteness index the whiter the sample (Zucco et al., 2011).

3.4. Sensory characteristics

The effect of adding of milk thistle seeds flour to wheat flour on sensory properties of biscuit was evaluated and presented in Figure 2. Control biscuit had the highest ratings for all tested sensory parameters. Results indicated that, adding natural milk thistle seeds flour to biscuit led to decrease of sensory scores of color, appearance and taste. In the same time odor, texture and overall acceptance of enriched biscuit with milk thistle seeds flour are not more affected significantly. Hegazy et al. (2014) reported similar results for enriched biscuit with natural chestnut (*Castanea sativa* Mill.) flour. Most of panelists reported that biscuit became brown with milk thistle flour addition in biscuit. Moreover, they mentioned that enriched biscuit gives a sense to the presence of remains of thin tissue in tongue. This may be related to the presence of some seeds coat of the milk thistle. These results are in agreement with Abd Raboh (2012). Hyun-Jung et al. (2014) reported that taste is important characteristic in determining cookies acceptability. Also, Heinio et al. (2016) mentioned that raw materials and ingredients are the key factor for flavour formation of of cereal foods.

Brodowska et al. (2014) reported that added doses of 0.16g, 0.336g and 0.56 g/100 g of milk thistle fruit did not influence sensory properties of wheat dough of bread.

3.5. Principal component analysis (PCA) of biscuits properties

Relationships between biscuits properties were obtained using factorial principal component analysis (PCA). Original data set was renormalized by an autoscaling transformation (data not shown) and different parameters were analyzed by a multivariate approach (Popovic et

al., 2013). The two first principal components (PCs) were sufficient to explain the maximum variation in all original data. Figure 3 shows plots of loadings (Figure 3A) and scores (Figure 3B) obtained from PCs, where the first two principal components (PC1 and PC2) accounted for 96.32% of the total variance of data. In particular, PC1 explained 92.88% of the variation of the data, while PC2 explained 3.44% (Aponte *et al.*, 2014). For Figure 3A, in the unit circle, parameters (moisture (M), dry matter (DM), ash (A), organic matter (OM), pH, total titratable acidity (TTA), starch (S), dry gluten (DG), weight (W), weight loss (WL), thickness (Thk), spread ratio (SR), volume (V), density (Ds), total color change (ΔE), leightness (L^*), hue angle (h°), chromaticity (c^*), browning index (BI), wheitness index (WI), overall acceptance (Ov Acc), texture (Txt), color (Col), taste (Tst), Odor (Od) and appearance (App)) are well presented in the first axis than diameter (D) parameter in second axis. Figure 3A divided the previous parameters very well in the following way:

- Axis 1, for PC1:

- Thickness (Thk), total titratable acidity (TTA), volume (V), dry matter (DM) and ash (A) are strongly negatively correlated with moisture (M), organic matter (OM), pH, starch (S), dry gluten (G), weight (W), weight loss (WL), spread ratio (SR), density (Ds), total color change (ΔE), leightness (L^*), hue angle (h°), chromaticity (c^*), browning index (BI), wheitness index (WI), overall acceptance (Ov Acc), taste (Tst), texture (Txt), color (Col) and appearance (app). These variables contribute strongly to the formation of axis 1 (Popovic *et al.*, 2013);

- Thickness (Thk), total titratable acidity (TTA), volume (V), dry matter (DM) and ash (A) have a great effect on PC1 than moisture (M), organic matter (OM), pH, starch (S), dry gluten (G), weight (W), weight loss (WL), spread ratio (SR), density (Ds), total color

change (ΔE), leightness (L^*), hue angle (h°), chromaticity (c^*), browning index (BI), wheitness index (WI), overall acceptance (Ov Acc), taste (Tst), texture (Txt), color (Col) and appearance (app), because they were positively correlated by PC1 and any increase in these variables produces an increase in PC1. On the other hand, moisture (M), organic matter (OM), pH, starch (S), dry gluten (G), weight (W), weight loss (WL), spread ratio (SR), density (Ds), total color change (ΔE), leightness (L^*), hue angle (h°), chromaticity (c^*), browning index (BI), wheitness index (WI), overall acceptance (Ov Acc), taste (Tst), texture (Txt), color (Col) and appearance (app) were negatively correlated by PC1 (Popovic *et al.*, 2013);

- Overall acceptance (Ov Acc), spread ratio (SR) and wheitness index (WI) parameters are positioned closely due to the positive correlations among them (Popovic *et al.*, 2013);

- Also, color (Col) and total color change (ΔE) parameters are positioned closely due to the significant positive correlations among them (Popovic *et al.*, 2013);

- Moreover, weight (W) and weight loss (WL) parameters are positioned closely due to the positive correlations among them (Popovic *et al.*, 2013);

- Opposite direction of moisture (M), ash (A) and total titratable acidity (TTA) on one side and dry matter (DM), organic matter (OM) and pH on another side, indicates that moisture (M), ash (A) and total titratable acidity (TTA) are the major contributors of dry matter (DM), organic matter (OM) and pH, respectively (Popovic *et al.*, 2013).

- Axis 2, for PC2:

- Diameter (D) variable contributes slightly to the formation of axis 2 (Popovic *et al.*, 2013);

- Diameter (D) has a little small effect on PC2 because it was negatively correlated by PC2, and any increase in this variable produces a decrease in PC2 (Popovic *et al.*, 2013).

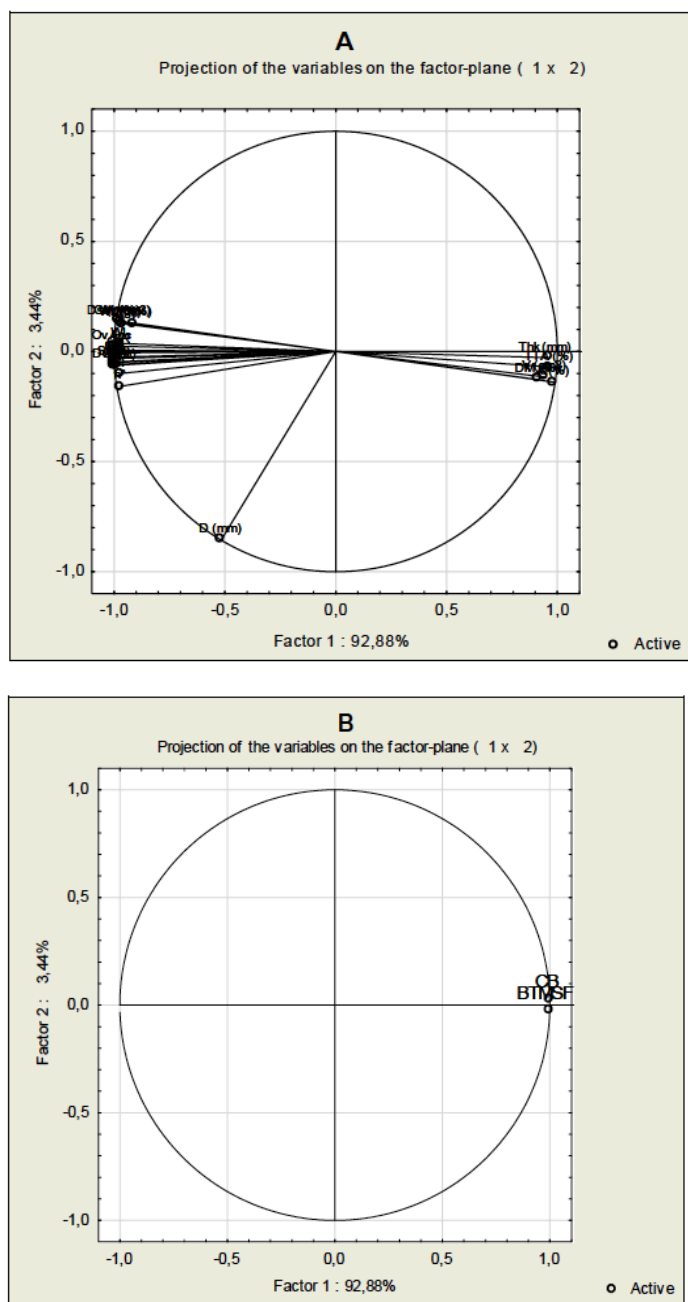


Figure 3. Graph of loading plot of physicochemical and sensory properties (A) and scores plot (B) for biscuits.

M: moisture, DM: dry matter, A: ash; OM: organic matter, TTA: total titratable acidity, S: starch, DG: Dry gluten, W: weight, WL: weight loss, d: diameter, Thk: thickness, V: volume, SR: spread ratio, D: density, L* : leightness, h° : hue angle, c* : chromaticity, ΔE : total color change, BI : browning index, WI : whiteness index, CB: control biscuit, BTMSF: enriched biscuit with milk thistle seeds flour.

For Figure 3B, scores distribution allowed for clustering of the samples into two groups (control biscuit (CB) and enriched biscuit with milk thistle seeds flour (BMTSF)). The difference between these groups is based on PC1

(total titratable acidity (TTA), dry matter (DM), thickness (Thk), ash (A) and volume (V)) (Popovic et al., 2013). All two groups were positively negatively scored on PC1 (Popovic et al., 2013). Control biscuit (CB) showed positive

score on PC2 but enriched biscuit with milk thistle seeds flour (BMTSF) was entirely located in the negative part. In particular, enriched biscuit with milk thistle seeds flour proved to be strongly characterized by Thickness (Thk), total titratable acidity (TTA), volume (V), dry matter (DM) and ash (A). So, thickness (Thk), total titratable acidity (TTA), volume (V), dry matter (DM) and ash (A) are higher in enriched biscuit with milk thistle seeds flour (BMTSF) than control biscuit (CB).

Results of principal component analysis (PCA) revealed the influence of milk thistle seeds flour addition on physicochemical and sensory properties of biscuit :

- ✓ Dry matter is higher in enriched biscuit because milk thistle seeds flour had lower moisture content than wheat flour (Table 1). The reduction of total solids in dough results biscuit has lower weight (Serrem, 2010).
- ✓ Enriched biscuit with milk thistle seeds flour contains high value of ash and a low value of organic matter. Hegazy et al. (2014) and Serrem (2010) found an increase in ash content of enriched biscuits with chestnut (*Castanea sativa* Mill.) and soy flours, respectively. Ash content of biscuit could be raised if milk thistle seeds flour is incorporated. This finding showed that addition of milk thistle seeds flour in cereal products enhanced their nutritional values ;
- ✓ pH decreased and total titratable acidity increased slightly in enriched biscuit with milk thistle seeds flour. Rizzello et al. (2010) reported a decrease in pH with an increase in total titratable acidity of prepared bread with fermented wheat germ flour ;
- ✓ Enriched biscuit with milk thistle seeds flour had lower starch content. This decrease in starch content could be explained by the low carbohydrate content of flour. Similarly, Serrem (2010) found a decrease in starch content of enriched biscuit with soy flour ;
- ✓ Dry gluten content decreased significantly with milk thistle seeds flour addition in biscuit (Table 2). This effect is a self-evident result from the substitution of wheat flour with milk thistle seeds flour, reducing the amount of gluten in the composite flour. Hallén et al. (2004) found a decrease in gluten content of enriched biscuit with cowpea flour ;
- ✓ It was observed that biscuit made with milk thistle seeds flour had the highest thickness and volume and the least weight, diameter and spread ratio than control biscuit. Difference in spread ratio depends on source of flours substitution. Cookies having higher spread ratio are considered the most desirable (Hyun-Jung et al., 2014) ;
- ✓ It can be seen that biscuit density seemed to be affected by milk thistle seeds flour addition. Density is considered the best index of sensory texture of biscuits (Mamat and Hill. 2014) ;
- ✓ Substituting wheat flour with milk thistle seeds flour in biscuit formulation significantly affects surface color of biscuit. Biscuit crust became darker with milk thistle seeds flour addition (Figure 1). Enriched biscuit leightness (L^*) decreased compared to control biscuit. Similarly, Sozer et al. (2014) mentioned that biscuit became darker with bran flour adding ;
- ✓ Chromaticity and hue angle values increased but color difference (ΔE^*) decreased when milk thistle seeds flour was added to biscuit. These results are similar to those found by Hegazy et al. (2014) for enriched biscuit with chestnut flour ;
- ✓ It was observed a general increasing trend in browning index (BI) value of enriched biscuit with milk thistle seeds flour. This increase in browning index was due to acrylamide formation and concentration. Acrylamide concentration was generally reported to have correlation with surface color formation (Sakin-Yilmazer et al., 2013). Also, thermal degradation of

originally colourless complex polyphenols to coloured phenols during biscuit baking increases biscuits browning index (BI). The increase in browning index of enriched biscuit with milk thistle seeds flour may be ascribed to polyphenoloxidases activity as a result of biscuit baking (Jimoh et al., 2009) ;

- ✓ As the milk thistle seeds flour added to biscuit, a reduction of whiteness index values was observed. Similarly, Ostermann-Porcel et al. (2017) found that as the okara content increased in cookies formulation, a reduction of whiteness index (WI) values was observed ;
- ✓ Biscuits made with wheat had the highest ratings for all tested sensory parameters. Results indicated that, adding of natural milk thistle seeds flour to biscuit led to decrease of sensory scores of color, appearance and taste. In the same time odor, texture and overall acceptance of enriched biscuit with milk thistle seeds flour are not more affected significantly. Hegazy et al. (2014) reported similar results for enriched biscuit with natural chestnut (*Castanea sativa* Mill.) flour.
- ✓ In addition, milk thistle seeds flour addition may provide additional flavor of milk thistle seeds to cookies which could change consumer's acceptability Abd Raboh (2012).

4. Conclusions

The results of this study suggest that milk thistle seeds flour may be blended with wheat flour at levels of 10% to obtain enriched biscuit. Compared to control biscuit, we see major differences in terms of quality of enriched biscuit (increase in volume (13.48 cm³) with a decrease in weight (6.63 g), in density (0.49 g/cm³) and in spread ratio (6.38)). Also, as milk thistle seeds flour added, biscuit color became brown (L*: 64.43). Moreover, the characterization performed in this study proved that the milk thistle seeds flour is a valuable source of minerals (3.1%), starch (51.4%) and it

could be used as a natural enrichment of gluten-free bakery product.

5. References

- Abd Raboh, F. F. (2012). Chemical studies on milk thistle seeds as a novel source of human food. Egypt: Tanta University, PhD thesis.
- Abu Jadayil, S., Tukan, S. K. and Takruri, H. R. (1999). Bioavailability of iron from four different local food plants in Jordan. *Plant Foods for Human Nutrition*, 54(4), 285-294.
- Agrahar-Murugkar, D., Gulati, P., Kotwaliwale, N. and Gupta, C. (2015). Evaluation of nutritional, textural and particle size characteristics of dough and biscuits made from composite flours containing sprouted and malted ingredients. *Journal of Food Science and Technology*, 52(8), 5129-5137.
- Aliyas, I. M. (2015). Wild Milk Thistle Unique Fatty Plant. *International Journal of Science and Research*, 6(1), 1227-1229.
- American Association of Cereal Chemistry (A.A.C.C.). (2000). Official Methods of Analysis. 9th ed. U.S.A.: St. Paul., Minnesota.
- Andrzejewska, J., Martinelli, T. and Sadowska, K. (2015). *Silybum marianum*: non-medical exploitation of the species : review article. *Annals of Applied Biology*, 167, 285-297.
- Aponte, M., Boscaino, F., Sorrentino, A., Coppola, R. M. P. and Romano, A. (2014). Effects of fermentation and rye flour on microstructure and volatile compounds of chestnut flour based sourdoughs. *LWT - Food Science and Technology*, 58, 387-395.
- Apostol, L., Iorga, S., Mosoiu, C., Racovita, R. C. and Niculae, O. M. (2017). The effects of partially defatted milk thistle (*silybum marianum*) seed flour on wheat flour. *Journal of International Scientific Publications, Agriculture and Food*, 5, 74-84.
- Association of Official Analytical Chemists (A.O.A.C.). (2000). Official Methods of Analysis. 17th ed. U.S.A.: Arlington, Virginia.

- Awad-Allah, M. A. A. (2013). Evaluation of selected nuts and their proteins functional properties. *Journal of Applied Sciences Research*, 9(1), 885-896.
- Baljeet, S. Y., Ritika, B.Y. and Reena, K. (2014). Effect of incorporation of carrot pomace powder and germinated chickpea flour on the quality characteristics of biscuits. *International Food Research Journal*, 21(1), 217-222.
- Barak, S., Mudgil, D. and Khatkar, B. S. (2014). Effect of flour particle size and damaged starch on the quality of cookies. *Journal of Food Science and Technology*, 51(7), 1342-1348.
- Brodowska, M., Guzek, D. and Wierzbicka, A. (2014). Modern technological solutions used in the production of bakery products with high biological value. *Advances in Science and Technology Research Journal*, 8(22), 83-92.
- Budryn, G., Żyżelewicz, D., Nebesny, E., Oracz, J. and Krysiak, W. (2013). Influence of addition of green tea and green coffee extracts on the properties of fine yeast pastry fried products. *Food Research International*, 50, 149-160.
- Chinma, C. E., Adewuyi O. and Abu J. O. (2009). Effect of germination on the chemical, functional and pasting properties of flour from brown and yellow varieties of tigernut (*Cyperus esculentus*). *Food Research International*, 42, 1004-1009.
- Dayakar, R. B. and Bhargavi, G. (2017). Technology Involved in Quality of Biscuits: Influence of Factors and Impact on Processing – A Critical Review. *International Journal of Pure & Applied Bioscience*, 5(4), 532-542.
- Eke-Ejiofor, J., Beleya, E. A. and Onyenorah, N. I. (2014). The effect of processing methods on the functional and compositional properties of jackfruit seeds flour. *International Journal of Nutrition and Food Sciences*, 3(3), 166-173.
- Elkhalifa, A. O. and Bernhardt, R. (2010). Influence of grain germination on functional properties of sorghum flour. *Food Chemistry*, 121, 387-392.
- Francis, F. (1998). Colour analysis in: food S.S. (Nielsen ed.). Aspen Publishers, Gaithersburg. U.S.A.: 559-612.
- Galla, N. R., Pamidighantam, P. R., Karakala, B., Gurusiddaiah, R. M. and Akula, S. (2007). Nutritional, textural and sensory quality of biscuits supplemented with spinach (*Spinacia oleracea* L.). *International Journal of Gastronomy and Food Science*, 7, 20-26.
- Hallén, E., Ibanoglu, S. and Ainsworth, P. (2004). Effect of fermented/germinated cowpea flour addition on the rheological and baking properties of wheat flour. *Journal of Food Engineering*, 63, 177-184.
- Hegazy, N. A., Kamil, M. M., Hussein, A. M. S. and Bareh, G. F. (2014). Chemical and technological properties of improved biscuit by chestnut flour. *International Journal of Food and Nutritional Sciences*, 3(6), 7-15.
- Heinio, R. L., Noort, M. W. J., Katina, K., Alam, S. A., Sozer, N., de Kock, H. L., Hersleth, M. and Poutanen, K. (2016). Sensory characteristics of wholegrain and bran-rich cereal foods -A review. *Trends in Food Science and Technology*, 47, 25-38.
- Hyun-Jung, C., Ahra, C. and Seung-Taik, L. (2014). Utilization of germinated and heat-moisture treated brown rices in sugar-snap cookies. *LWT - Food Science and Technology*, 57, 260-266.
- Jimoh, K. O., Olurin, T. O. and Aina, J. O. (2009). Effect of drying methods on the rheological characteristics and colour of yam flours. *African Journal of Biotechnology*, 8(10), 2325-2328.
- Korus, J., Witczak, M., Rafał, Z. and Juszcak, L. (2015). The influence of acorn flour on rheological properties of gluten-free dough and physical characteristics of the bread. *European Food Research and Technology*, 240, 1135-1143.
- Mamat, H. and Hill, S. E. (2014). Effect of fat types on the structural and textural properties of dough and semi-sweet biscuit. *Journal of Food Science and Technology*,

- 51(9), 1998-2005.
- Mateos-Aparicio, I., Redondo-Cuenca, A. and Villanueva-Suárez, M. J. (2010). Isolation and characterisation of cell wall polysaccharides from legume by-products: Okara (soymilk residue), pea pod and broad bean pod. *Food Chemistry*, 122, 339-345.
- Mogol, B. A. and Gökmen, V. (2014). Mitigation of acrylamide and hydroxymethylfurfural in biscuits using combined partial conventional baking and vacuum post-baking process: Preliminary study at the lab scale. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 26, 265-270.
- Onacik-Gür, S. Z. A. and Jaroszewska, A. (2015). Effect of high-oleic sunflower oil and other pro-health ingredients on physical and sensory properties of biscuits. *CyTA–Journal of Food*, 13(4), 621-628.
- Oppong, D., Eric, A., Samuel, O. K., Eric, B. and Patrick, S. (2015). Proximate composition and some functional properties of soft wheat flour. *International Journal of Innovative Research in Science, Engineering and Technology*, 4(2), 2347-6710.
- Ostermann-Porcel, M. V., Quiroga-Panelo, N., Rinaldoni, A. N. and Campderrós, M. E. (2017). Incorporation of okara into gluten-free cookies with high quality and nutritional value. *Journal of Food Quality*, 2017, 1-8.
- Pandey, H. and Awasthi, P. (2015). Effect of processing techniques on nutritional composition and antioxidant activity of fenugreek (*Trigonella foenum-graecum*) seeds flour. *Journal of Food Science and Technology*, 52(2), 1054-1060.
- Popovic, B. M. D., Stajner, D. R., Zdero, O. S. and Galic, Z. (2013). Antioxidant characterization of oak extracts combining spectrophotometric assays and chemometrics. *The Scientific World Journal*, 2013, 1-8.
- Ragaei, S., Abdel-Aal, E. S. M. and Noaman, M. (2006). Antioxidant activity and nutrient composition of selected cereals for food use. *Food Chemistry*, 98, 32-38.
- Reddy, V., Urooj, A. and Kumar, A. (2005). Evaluation of antioxidant activity of some plant extracts and their application in biscuits. *Food Chemistry*, 90, 317-321.
- Rizzello, C. G., Nionelli, L., Coda, R., Di, C. R. and Gobetti, M. (2010). Use of sourdough fermented wheat germ for enhancing the nutritional, texture and sensory characteristics of the white bread. *European Food Research and Technology*, 230, 645-654.
- Sadowska, K. (2006). Owoce ostropestu plamistego jako prozdrowotny dodatek do pieczywa. *Żywność. Nauka. Technologia. Jakość*, 47(2), 290-296.
- Shahat, M. S., Hussein, A. S. and Hady, E. A. (2016). Preparation of bread supplemented with milk thistle flour and its effect on acute hepatic damage caused by carbon tetrachloride in rats. *Middle East Journal of Applied Sciences*, 6(3), 531-540.
- Sakin, M., Kaymak-Ertekin, F. and Ilicali, C. (2007). Modeling the moisture transfer during baking of white cake. *Journal of Food Engineering*, 80, 822-831.
- Sakin-Yilmazer, M., Kemerli, T., Isleroglu, H., Ozdestan, O., Guven, G., Uren, A. and Kaymak-Ertekin, F. (2013). Baking kinetics of muffins in convection and steam assisted hybrid ovens (baking kinetics of muffin. . .). *Journal of Food Engineering*, 119, 483-489.
- Serrem, C. A. (2010). Development of soy fortified sorghum and bread wheat biscuits as a supplementary food to combat protein energy malnutrition in young children. Department of Food Science. Faculty of Natural and Agricultural Sciences. University of Pretoria, South Africa : pp 78, p 54, 55, 89-91.
- Sozer, N., Cicerelli, L., Heiniö, R. L. and Poutanen, K. (2014). Effect of wheat bran addition on in vitro starch digestibility, physicochemical and sensory properties of biscuits. *Journal of Cereal Science*, 60, 105-113.
- Youssef, H. M. K. E. and Mousa, R. M. A.

- (2012). Nutritional Assessment of Wheat Biscuits and Fortified Wheat Biscuits with Citrus Peels Powders. *Food and Public Health*, 2(1), 55-60.
- Yusuf, A. A., Ayedun, H. and Sanni, L. O. (2008). Chemical composition and functional properties of raw and roasted Nigerian benniseed (*Sesamum indicum*) and bambara groundnut (*Vigna subterranean*). *Food Chemistry*, 111, 27-282.
- Zouari, R., Besbes, S., Ellouze-Chaabouni, S. and Dhouha, G. (2016). Cookies from composite wheat–sesame peels flours: dough quality and effect of *Bacillus subtilis* SPB1 biosurfactant addition. *Food Chemistry*, 194, 758-769.
- Zucco, F., Borsuk, Y. and Arntfield, S. D. (2011). Physical and nutritional evaluation of wheat cookies supplemented with pulse flours of different particle sizes. *LWT - Food Science and Technology*, 44, 2070-2076.

Acknowledgment

Food Science Laboratory technicians are thanked for their assistance throughout the preparation of this work.

Résumé

Le but de ce travail est de préparer des biscuits enrichis par 10, 20 et 30% des différentes poudres (des glands de chêne naturels et traités et des graines de chardon marie). Aussi, d'étudier l'effet des certains traitements technologiques (pétrissage et cuisson) sur la qualité des biscuits préparés. Les résultats des analyses physico-chimiques montrent que la valeur nutritionnelle des biscuits a été améliorée par l'addition des poudres d'enrichissement (taux élevé des polyphénols (198,5-215,5 mg EAG/100g) dans les biscuits enrichis en poudre des glands chêne naturels, et grande teneur en cendres (2,33-3,89%), en protéines (5,73-6,18%) et en fibres (0,88-1,15%) dans les biscuits enrichis en poudre des graines de chardon marie. La teneur de gluten a diminuée dans tous les biscuits enrichis. Toutefois, l'enrichissement des biscuits affecte leurs propriétés organoleptiques (couleur, texture, apparence et goût). Par contre, les biscuits enrichis en 20% de poudre de chardon marie sont les plus préférés par les dégustateurs. Le pétrissage pendant 15 minutes a produit des biscuits courts et épais. Les biscuits cuits au four électrique contiennent des teneurs d'hydroxyméthyle furfural (HMF) supérieures à ceux cuits au microonde. En plus, la cuisson au microonde maintient la valeur nutritionnelle (protéines, fibres et polyphénols) des biscuits enrichis mais affecte son apparence. Enfin, les poudres des glands de chêne et de chardon marie pourraient être utilisées comme des enrichissements naturels des produits de boulangerie sans gluten.

Mots-clés : glands de chêne, graines de chardon marie, biscuits, enrichissement, pétrissage, cuisson, qualité.

Abstract

The aim of this work is to prepare enriched biscuits with 10, 20 and 30% of different powders (natural and treated oak acorns and seeds of milk thistle). Also, to study the effect of certain technological treatments (kneading and cooking) on the quality of prepared biscuits. The results of physicochemical analyzes show that nutritional value of biscuits was improved by enrichment powders (high polyphenols content (198,5-215,5 mg EAG/100g) in enriched biscuits with natural oak acorn powder, and high ash (2,33-3,89%), proteins (5,73-6,18%) and fibers contents (0,88-1,15%) in improved biscuits with milk thistle seeds powder. Gluten content has been reduced in all enriched biscuits. However, the enrichment of biscuits affects their organoleptic properties (color, texture, appearance and taste). On the other hand, enriched biscuits with 20% of milk thistle powder are the most preferred by the tasters. Kneading for 15 minutes produces a short and thick biscuits. Baked biscuits in electric oven contain higher levels of furfural hydroxymethyl (HMF) than those baked in microwave. In addition, microwave cooking maintains the nutritional value (proteins, fibers and polyphenols) of enriched biscuits but affects its appearance. Finally, oak acorn and milk thistle powders could be used as natural enrichments for gluten-free bakery products.

Keywords : oak acorns, milk thistle seeds, biscuits, enrichment, kneading, cooking, quality.

المخلص

الهدف من هذا العمل هو تحضير البسكويت المثرى بـ 10 و 20 و 30% من المساحيق المختلفة (البلوط الطبيعي والمعالج وبذور الخرفيش). أيضا دراسة تأثير بعض المعالجات التكنولوجية (العجن والطبخ) على جودة البسكويت المعد. تظهر نتائج التحليلات الفيزيوكيميائية أن القيمة الغذائية للبسكويت قد تحسنت بإضافة مساحيق الإثراء (نسبة عالية من البوليفينول (198,5-215,5 ملغ/100 غ) في البسكويت المثرى بمسحوق البلوط الطبيعي ومستويات عالية من المعادن (2,33-3,89%) والبروتين (5,73-6,18%) والألياف (0,88-1,15%) في البسكويت المحسن بمسحوق بذور الخرفيش. لقد انخفض محتوى الغلوتين في جميع أنواع البسكويت ومع ذلك، فإن إثراء البسكويت يؤثر على خصائصه الحسية (اللون، المظهر والذوق). من ناحية أخرى البسكويت المثرى بـ 20% من مسحوق بذور الخرفيش هو الأكثر تفضيلا من قبل المتذوقين. العجن لمدة 15 دقيقة ينتج بسكويت قصير وسميك. تحتوي البسكويات المطهوه في الفرن الكهربائي على مستويات أعلى من هيدروكسي ميثيل الفيرفيرال بالمقارنة مع تلك المطهوه في الميكروويف بالإضافة إلى ذلك، يحافظ الطبخ بالميكروويف على القيمة الغذائية للبسكويت المثرى (البروتين، الألياف، و البوليفينول) ولكن يؤثر على مظهره. أخيرًا، يمكن استخدام مساحيق البلوط و بذور الخرفيش كإثراء طبيعي لمنتجات المخازير الخالية من الغلوتين.

الكلمات المفتاحية: البلوط، بذور الخرفيش، البسكويت، الإثراء، العجن، الطبخ، الجودة