



الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية



REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

وزارة التعليم العالي و البحث العلمي

MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE
SCIENTIFIQUE

Ecole Nationale Supérieure Agronomique

المدرسة الوطنية العليا للفلاحة

Département : Technologie Alimentaire

القسم: التكنولوجيا الغذائية

Spécialité : Elaboration et qualité des aliments

التخصص: اعداد و نوعية الأطعمة

Mémoire de fin d'études

En vue de l'obtention du Diplôme De Master

THEME

Elaboration d'une boisson protéinée

Présenté par : BAOUNI Amal

Soutenu le : 10/11/2024

BENSERAI Nesrine

Devant le jury :

Présidente : Mme AOUIR. A

MCB, ENSA

Promotrice : Mme ATTAL. F.S

MCB (ISTA-Blida 1)

Co-promoteur : Mr AMIALI Malek

Professeur, ENSA

Examineur : Mr BOUMEHIRA A. Z

MCA, ENSA

Examinatrice : Mme EL AICHAR. F

MAB, ENSA

Promotion: 2019-2024

Table des matières

Remerciements

Dédicaces

Résumé

Abstract

ملخص

Liste des abréviations et acronymes

Liste des Figures

Liste des Tableaux

Introduction 1

Partie bibliographique

Chapitre I: Généralités sur les boissons

I.1	Généralités	3
I.2	Définition.....	4
I.3	Types des boissons.....	4
I.3.1	Boissons non-alcoolisées	5
I.3.1.1	Boissons gazeuses	5
I.3.1.2	Boissons non gazeuses	5
I.3.1.2.1	Jus de fruits.....	5
I.3.1.2.2	Boissons végétales.....	6
I.3.1.2.2.1	Classification des boissons végétales	7
I.3.1.2.2.2	Fabrication des boissons végétales	8
I.3.2	Boissons alcoolisées.....	8
I.4	Les aliments enrichis en protéine	9
I.5	Tendances futures de la production de boissons fonctionnelles	10

Chapitre II : Description des plantes étudiées

II.1	Lupin (<i>Lupinus albus L.</i>)	12
II.1.1	Description botanique de <i>Lupinus albus L.</i>	12
II.1.2	Systématique de <i>Lupinus albus L.</i>	13
II.1.3	Farine de lupin	13
II.1.4	Composition chimique des graines de lupin	13
II.1.5	Utilisation.....	16
II.1.6	Effet de lupin sur la santé.....	17
II.1.7	Facteurs antinutritionnels.....	17
II.2	Les graines de chia (<i>Salvia hispanica L.</i>).....	19
II.2.1	Caractéristiques botaniques de <i>Salvia hispanica L.</i>	19
II.2.2	Systématique de <i>Salvia hispanica L.</i>	20
II.2.3	Composition chimique	20
II.2.4	Utilisation.....	23

II.2.5	Bienfaits sur la santé	23
II.3	Caroubier (<i>Ceratonia siliqua</i> L.).....	24
II.3.1	Caroube	24
II.3.2	Composition chimique de caroube.....	25
II.3.3	Applications alimentaires.....	27
II.3.4	Bienfaits sur la santé	28
II.4	Cacao (<i>Theobroma cacao</i> L.).....	29
II.4.1	Systématique de <i>Theobroma cacao</i> L	29
II.4.2	Poudre de cacao	30
II.4.3	Composition chimique de cacao	30
II.4.4	Application alimentaire du cacao.....	31
II.4.5	Bio fonctionnalité et Avantages Potentiels pour la Santé	32
II.5	Ashwagandha (<i>Withaniasomnifera</i>)	33
II.5.1	Culture et récolte	33
II.5.2	Systématique de <i>Withania somnifera</i>	34
II.5.3	Composition chimique d'ashwagandha	35
II.5.4	Application alimentaire d'Ashwagandha.....	36
II.5.5	Bienfaits sur la santé	36

Matériels et méthodes

I.	Matériel végétal.....	37
II.	Méthodes	38
II.1	Analyses portant sur les matières premières.....	38
II.1.1	Analyses physico-chimiques.....	38
II.1.1.1	Détermination de la matière sèche	38
II.1.1.2	Détermination du taux de cendres	38
II.1.1.3	Détermination de la teneur en protéines.....	39
II.1.1.4	Détermination de la teneur en matière grasse	39
II.1.1.5	Détermination du profil en acides gras	41
II.1.1.6	Détermination des sucres totaux	41
II.1.1.7	Détermination de la teneur en fibres totales.....	41
II.1.1.8	Détermination du pH (AFNOR ; NR05-108,1996).....	42
II.1.1.9	Détermination de la valeur énergétique :	42
II.1.2	Analyses phytochimiques	42
II.1.2.1	Screening phytochimique	42
II.1.2.1.1	Préparation d'extraits de plantes.....	42
II.1.2.1.2	Tests phytochimiques	43
II.1.2.2	Dosage des polyphénols totaux	44
II.1.2.3	Dosage des flavonoïdes.....	45
II.1.2.4	Activité antioxydante	45
II.1.2.4.1	Mesure du pouvoir du piégeage du radical DPPH (1,1-diphenil -2-picrylhydazyl) 45	
II.1.2.4.2	Mesure du pouvoir de piégeage du radical ABTS+ ou 2,2-Azino-bis (3- ethylbenzthiazoline-6-sulphonic acid).....	46
II.1.3	Analyses microbiologiques.....	47
II.1.3.1	Préparation de la solution mère.....	47
II.1.3.2	Préparation des dilutions décimales	47

II.1.3.3	Recherche et Dénombrement de la flore mésophile aérobie totale FMAT	48
II.1.3.4	Recherche et dénombrement des coliformes totaux et fécaux	49
II.1.3.5	Recherche et dénombrement des Levures et Moisissures (Normes NF ISO 7954)	49
II.1.3.6	Recherche et dénombrement de Staphylocoques : (ISO 6888-1,1999)	50
II.1.3.7	Recherche de Salmonelle	51
II.1.3.8	Recherche des anaérobies sulfito-réducteurs	52
II.1.4	Analyses statistiques	52
II.1.5	Formulation de la boisson	52
II.1.5.1	Optimisation de la qualité de la boisson.....	52
II.1.5.2	Optimisation de la température de traitement thermique	55
II.1.5.3	Elaboration des boissons	55
II.1.5.4	Analyses portant sur la boisson formulée	57
II.1.5.4.1	Analyse sensorielle	57
II.1.5.4.2	Analyses physicochimiques des boissons.....	57
II.1.5.4.2.1	Détermination de l'acidité titrable (NF V05 – 101)	58
II.1.5.4.2.2	Détermination de degré Brix (AFNOR, 1955)	58
II.1.5.4.2.3	Détermination de la teneur en matière grasse.....	58
II.1.5.4.2.4	Détermination de la valeur énergétique.....	59
II.1.5.4.3	Analyses phytochimiques des boissons.....	59
II.1.5.4.3.1	Préparation d'extrait éthanolique de la boisson.....	59
II.1.5.4.3.2	Analyses phytochimiques	59
II.1.5.4.4	Analyses microbiologiques des boissons	59
II.1.5.4.5	Analyses statistiques.....	60
II.1.5.5	Etude de la valeur marchande	60

Résultats et discussions

I.	Résultats de la caractérisation des matières premières.....	61
I.1	Résultats d'analyses physicochimiques des matières premières	61
I.1.1	Evaluation de la matière sèche.....	62
I.1.2	Evaluation de la teneur en glucides	62
I.1.3	Evaluation de la teneur en protéines	63
I.1.4	Evaluation de la teneur en lipides et du profil en acides gras	64
I.1.5	Profil en Acides Gras	65
I.1.6	Evaluation de la teneur en cendres.....	67
I.1.7	Evaluation de la teneur en fibres.....	68
I.1.8	Evaluation du potentiel hydrogène (pH).....	69
I.2	Résultats d'analyses phytochimiques des matières premières	70
I.2.1	Screening phytochimique.....	70
I.2.2	Evaluation de la teneur en polyphénols totaux et en flavonoïdes	73
I.2.2.1	Evaluation de la teneur en polyphénols	73
I.2.2.2	Evaluation de la teneur en flavonoïdes	75
I.2.3	Evaluation de l'activité antioxydante.....	77
I.3	Résultats de la caractérisation microbiologique des matières premières :	80
I.3.1	La flore mésophile aérobie totale (FMAT)	81
I.3.2	Levures et moisissures	82
I.3.3	Coliformes totaux, coliformes thermo tolérants et <i>Escherichia coli</i>	83
I.3.4	<i>Salmonella</i>	84

I.3.5	<i>Staphylococcus aureus</i>	84
I.3.6	Anaérobies sulfito-réducteurs	85
II.	Résultats de la caractérisation du produit fini	85
II.1	Résultats des analyses microbiologiques des boissons formulées.....	85
II.2	Résultats de l'évaluation sensorielle des boissons formulées	87
II.3	Résultats de l'optimisation de la température de traitement thermique	88
II.4	Optimisation de la formule par la méthodologie de surface de réponses (MSR).....	90
II.4.1	Résultats des paramètres de réponse.....	90
II.4.2	Résultats de la modélisation des paramètres de réponse	91
II.4.2.1	Résultats de la modélisation de la réponse « taux de protéines »	91
II.4.2.1.1	Ajustement du modèle	91
II.4.2.1.2	Résultats de l'analyse des surfaces de réponses	95
II.4.2.1.3	Résultats de l'analyse des tracés des iso réponses.....	97
II.4.2.2	Résultats de la modélisation de la réponse « Couleur ».....	99
II.4.2.2.1	Ajustement du modèle	99
II.4.2.2.2	Résultats de l'analyse des surfaces de réponses	101
II.4.2.2.3	Résultats de l'analyse des tracés des iso réponses.....	103
II.4.2.3	Résultats de la modélisation de la réponse « Odeur ».....	106
II.4.2.3.1	Ajustement du modèle	106
II.4.2.3.2	Résultats de l'analyse des surfaces de réponses	108
II.4.2.3.3	Résultats de l'analyse des tracés des iso réponses.....	110
II.4.2.4	Résultats de la modélisation de la réponse « Texture ».....	112
II.4.2.4.1	Ajustement du modèle	112
II.4.2.4.2	Résultats de l'analyse des surfaces de réponses	114
II.4.2.4.3	Résultats de l'analyse des tracés des iso réponses.....	116
II.4.2.5	Résultats de la modélisation de la réponse « Aspect ».....	118
II.4.2.5.1	Ajustement du modèle	118
II.4.2.5.2	Résultats de l'analyse des surfaces de réponses	120
II.4.2.5.3	Résultats de l'analyse des tracés des iso réponses.....	122
II.4.3	Etude de la désirabilité:.....	124
II.4.3.1	Profil de désirabilité de la réponse « taux de protéines ».....	124
II.4.3.2	Profil de désirabilité de la réponse « Odeur »	124
II.4.3.3	Profil de désirabilité de la réponse « Aspect »	125
II.4.3.4	Profil de désirabilité de l'ensemble des paramètres significatifs	126
II.5	Effet de l'incorporation des matières premières sur la qualité physicochimique de lait d'amande (témoin).....	127
II.6	Effet de l'incorporation des matières premières sur la qualité phytochimique de lait d'amande (témoin).....	130
II.7	Etiquetage	132
II.8	Valeur marchande	133

Conclusion

Références bibliographiques

Annexes

Résumé

Le marché des aliments fonctionnels, notamment ceux enrichis en protéines, a connu une croissance significative ces dernières années, attirant de plus en plus l'attention sur les alternatives végétales en raison de l'intolérance au lactose, du véganisme et des considérations environnementales. Dans cette étude, cinq espèces – *Lupinus albus L.*, *Salvia hispanica L.*, *Withania somnifera*, *Theobroma cacao*, et *Ceratonia siliqua L.* – ont été analysées dans le but de les incorporer dans une boisson saine, riche en protéines, nutritive et fonctionnelle, répondant aux besoins des consommateurs. L'optimisation de la formule a été réalisée par la méthodologie de surface de réponse (MSR), en utilisant un plan expérimental de Box-Behnken. Dans ce plan d'expérience, les quantités d'ashwagandha et de caroube ont été fixées, tandis que les variables indépendantes choisies étaient : la poudre de lupin, la poudre de chia et le cacao. La poudre de lupin a été introduite aux taux de 5,5 %, 6,5 % et 7,5 % ; la poudre de chia à 0,5 %, 1 % et 1,5 % ; et le cacao à 1,5 %, 2,5 % et 3,5 %. Les paramètres de réponse incluent les caractéristiques organoleptiques obtenues par analyse sensorielle et la teneur en protéines des boissons. Le profil de désirabilité a permis d'identifier la formule optimale pour chaque paramètre de réponse.

Les résultats de la caractérisation nutritionnelle du produit fini ont montré qu'il est riche en protéines ($5,5 \pm 0,1$ %), avec une faible teneur en glucides ($1,36 \pm 0,03$ %), apportant une valeur énergétique de 69,2 Kcal pour 100 ml de boisson, confirmant ainsi un bon équilibre nutritionnel et une concentration en nutriments supérieure au témoin. Par ailleurs, les analyses de la capacité antioxydante, telles que le test DPPH, ont révélé une inhibition de 23,64 %, indiquant un potentiel antioxydant appréciable. De plus, des niveaux significatifs de polyphénols (0,79 mg EAG/100 g de matière sèche) et de flavonoïdes (2,34 mg EQ/100 g de matière sèche) ont été observés, suggérant des bénéfices pour la santé. Enfin, les résultats microbiologiques ont confirmé l'absence de microorganismes après un traitement thermique à 75 °C pendant 30 secondes.

Mots clés : aliment fonctionnels, protéines, boisson, méthodologie de surface de réponse, optimisation, caractérisation, capacité antioxydante.

Abstract

The functional food market, particularly for protein-enriched products, has experienced considerable growth in recent years, spurred by increasing interest in plant-based alternatives due to lactose intolerance, veganism, and environmental concerns. This study explores the incorporation of five plant species—*Lupinus albus L.*, *Salvia hispanica L.*, *Withania somnifera*, *Theobroma cacao*, and *Ceratonia siliqua L.*—into a beverage designed to offer a healthy, protein-rich, nutritious, and functional product that meets consumer demands. The formula was optimized using Response Surface Methodology (RSM) with a Box-Behnken design. In this design, the quantities of ashwagandha and carob were fixed, while the independent variables were lupine flour, chia powder, and cocoa. Lupine flour was added at levels of 5.5%, 6.5%, and 7.5%; chia powder at 0.5%, 1%, and 1.5%; and cocoa at 1.5%, 2.5%, and 3.5%. The response parameters included organoleptic properties assessed through sensory analysis and protein content of the beverages. The desirability profile approach allowed for the identification of the optimal formula for each response parameter.

Nutritional analysis of the finished product showed that it is high in protein ($5.5 \pm 0.1\%$), low in carbohydrates ($1.36 \pm 0.03\%$), and provides an energy value of 69.2 kcal per 100 ml, confirming a well-balanced nutritional profile and higher nutrient density than the control. Additionally, antioxidant capacity testing, such as the DPPH assay, indicated a 23.64% inhibition rate, suggesting appreciable antioxidant potential. The beverage also showed significant levels of polyphenols (0.79 mg GAE/100 g dry matter) and flavonoids (2.34 mg QE/100 g dry matter), indicating possible health benefits. Finally, microbiological tests confirmed the absence of microorganisms following a heat treatment at 75°C for 30 seconds.

Key words: functional food, proteins, beverage, Response Surface Methodology, optimization, characterization, antioxidant capacity.

ملخص

شهد سوق الأغذية الوظيفية، وخاصة تلك الغنية بالبروتينات، نموًا كبيرًا في السنوات الأخيرة، مما جذب اهتمامًا متزايدًا نحو البدائل النباتية بسبب عدم تحمل اللاكتوز، والنظام الغذائي النباتي، والاعتبارات البيئية. في هذا العمل، تم دراسة خمسة أنواع نباتية وهي *Theobroma cacao*، *Withania somnifera*، *Salvia hispanica*، *Lupinus albus* و *Ceratonia siliqua* بهدف دمجها في مشروب صحي، غني بالبروتين، مغذي وذو وظائف صحية يلبي احتياجات المستهلكين. تمت عملية تحسين التركيبة باستخدام منهجية استجابة السطح (MSR) باستخدام تصميم تجريبي من نوع " Box Behnken". في هذا التصميم التجريبي، تم تثبيت كميات الأشواجن والخروب، وتم اختيار المتغيرات المستقلة وهي: دقيق الترمس، مسحوق الشيا، والكاكاو. تم إدخال دقيق الترمس بنسب (5,5%، 6,5%، و7,5%)، مسحوق الشيا بنسب (0,5%، 1%، و1,5%)، والكاكاو بنسب (1,5%، 2,5%، و3,5%). وتتمثل معايير الاستجابة في نتائج الخصائص الحسية التي تم الحصول عليها من خلال التحليل الحسي ومحتوى البروتين في المشروبات. وقد مكن ملف الرغبة من تحديد التركيبة المثلى لكل معيار استجابة. أظهرت نتائج التوصيف الغذائي للمنتج النهائي أن هذا الأخير غني بالبروتين بنسبة $(5,5 \pm 0,1\%)$ ، وذو محتوى منخفض من الكربوهيدرات بنسبة $(1,36 \pm 0,03\%)$ ، مما يوفر قيمة طاقة تبلغ 69,2 كيلو كالوري لكل 100 مل من المشروب، مؤكداً توازن غذائي جيد وتركيز عالٍ من العناصر الغذائية مقارنةً بالعينة الضابطة. من ناحية أخرى، كشفت تحليلات القدرة المضادة للأكسدة للمشروب، مثل اختبار DPPH، عن نسبة تثبيط بلغت 23,64%، مما يشير إلى أن المشروب يتمتع بقدرة مضادة للأكسدة ملحوظة، كما أظهرت التحاليل مستويات كبيرة من البوليفينولات بمقدار 0,79 ملغ مكافئ حمض الغاليك/ 100 غ من المادة الجافة، ومن الفلافونويدات بمقدار 2,34 ملغ مكافئ كيرسيتين/ 100 غ من المادة الجافة، مما يبرز فوائده الصحية. وأخيراً، أكدت النتائج الميكروبيولوجية عدم وجود الكائنات الدقيقة بعد معالجة حرارية عند 75 درجة مئوية لمدة 30 ثانية.

الكلمات المفتاحية: الأغذية الوظيفية، البروتينات، المشروب، منهجية استجابة السطح، تحسين التركيبة، التوصيف، القدرة المضادة للأكسدة