

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

Ministère de l'enseignement supérieur et de la recherche scientifique

UNIVERSITE SAAD DAHLEB BLIDA1

Faculté de Technologie

Département de Génie Des Procédés



Mémoire de fin d'études

En vue de l'obtention du diplôme de Master en Génie Des Procédés

Option : Pharmacie industrielle

Thème

**Valorisation des protéines de deux variétés d'avoine Algérienne
dans la formulation d'un complément alimentaire fortifiant**

Présenté par :

- Allami Kaouther Aicha.
- Hidra Safia.
- Seghiri Ghizlane.

Encadrée par :

Promotrice : Pr. A. Hadj-Ziane-Zafour
Co-promotrice : Bendjabou wafa

Année universitaire : 2023/2024

REMERCIEMENT

Toute notre gratitude, grâce et remerciements vont en premier lieu à **ALLAH**, notre créateur et maître de l'univers, de nous avoir donné le courage, la santé, la force afin d'arriver à la finalité de ce modeste travail.

Nous remercions très chaleureusement notre encadreur Pr. **HADJ-ZIANE Amel** d'avoir accepté de nous diriger, initier et guider sur le chemin de la science et la morale, ainsi que pour la grande confiance qu'elle nous a accordé, toujours avec patience et d'inestimables conseils. Merci de nous avoir transmis votre savoir et savoir-faire précieux. Grâce à vous, nous avons beaucoup appris.

Nous tenons à remercier notre Co-promotrice Mme.**BENDJABOU Wafa** pour son soutien et son encouragement durant cette aventure.

Nous adressons nos sincères remerciements à tous les professeurs, intervenants et toutes les personnes qui par leurs paroles, leurs écrits, leurs conseils et leurs critiques ont guidé nos réflexions, qui ont accepté de nous donner de leurs temps et répondre à nos questions durant notre stage de recherche, ainsi l'ensemble des enseignants du département de génie des procédés qui ont contribué à notre formation.

Nous souhaitons adresser nos remerciements au corps personnel et administratif de département de génie des procédés pour l'aide précieuse.

Nos remerciements vont pour tous ceux ou celles qui nous ont apportés leur soutien et qui nous ont aidé de loin ou de près pour l'achèvement de ce travail. En particulier nos familles **ALLAMI, HIDRA et SEGHIRI**, nos parents qui nous ont soutenus beaucoup pendant toute la vie et qui continuerons à nous aider dans tous les projets de l'avenir **INCHALLAH**.

DEDICACE

En tout premier lieu, je remercie le bon dieu, tout puissant, de m'avoir donné la force pour survivre, ainsi que l'audace pour dépasser toutes les difficultés. Permis de mener à bien ce travail. Pour avoir bien voulu juger ce travail. Au nom du dieu le clément et le miséricordieux louange à ALLAH le tout puissant.

À mon meilleur assistant, qui m'a aidé dans les moments d'adversité, au mur sur lequel je m'appuyais dans ma fatigue et ma tristesse, à l'épaule sur laquelle je posais mon poids, à mon cher et bien-aimé que j'aime autant comme ce monde, au paradis de ce monde et de l'au-delà, à l'homme, mon précieux offre du dieu, qui doit ma vie, ma réussite et tout mon respect, à toi mon père « *Redha* ».

À mon ange pur et à ma force après Dieu. Mon premier et éternel soutien, à celle qui m'a soutenu sans limites et ma donnée gratuitement en retour, je vous dédie cette réalisation qui sans vos sacrifices n'aurait pas été possible. À la femme qui a souffert sans me laisser souffrir, qui n'a jamais dit non à mes exigences et qui n'a épargné aucun effort pour me rendre heureuse, mon adorable mère « *Fatima-Lohra* ».

À mes chère sœurs « *Hind* » et « *Afaf* » qui n'ont pas cessée de me conseiller, encourager et soutenir tout au long de mes études. À celles qui ont cru en mes capacité et en la sécurité de mes jours. Merci pour l'amour que vous me réservez. Je vous souhaite une vie pleine du bonheur et de succès. Que dieu vous protège et vous offre la chance et le bonheur.

Un jour une rencontre et la vie change. Ma moitié, mon confident, mon autre pour toujours et à jamais, mon soutien moral et source de joie et de bonheur, celui qui s'est toujours sacrifié pour me voir réussir, que dieu te garde pour moi.

À mon homme « *Mahmoud* ».

À mes adorables neveux « *Scheib* » et « *Aya* » qui savent toujours comment procurer la joie et le bonheur pour toute la famille. Avoir des neveux est le plus beau cadeau qu'une sœur puisse vous faire. Je vous aime.

À mes chère binômes « *Ghizlane* » et « *Safia* » merci pour votre aide et votre soutien tout au long de ce parcours je ne peux trouver les mots justes et sincères pour t'exprimer mon affection et mes pensées. Je vous souhaite une vie pleine de santé et de bonheur.



AICHA

DEDICACE

À *ma très chère mère*, Quoi que je fasse ou que je dise, je ne saurai point te remercier comme il se doit, ton affection me couvre, ta bienveillance me guide et ton présent à mes côtés a toujours été ma source de force pour affronter les différents obstacles.

À *mon cher père*, Depuis ma tendre enfance, tu es mon plus fort repère un être unique et magnifique. Tu as toujours été à mes côtés pour me soutenir et m'encourager que ce travail traduit ma gratitude et mon affection.

À *mes très chères sœurs*, « CHAHRA » et « ABLA » et ma belle-sœur « BAHDJA » pour leur soutien.

À *mon cher frère* « MOHAMED-REZK »

À *mes neveux et nièces* AYAT, ASINAT, MOUTAZ, ABDELKHALEK, HOHSIN, SADJDA et BARAE que dieux les protèges.

À *ma chère copine* « NOUR » que je lui souhaite une bonne santé et beaucoup de réussite.

À *mes magnifiques binômes*, « AICHA » et « SAFIA » puisse dieux vous donner santé, bonheur courage et surtout réussite.

À *mes chers amis* qui m'a aidée et supporté dans les moments difficiles.



GHIZLANE

DEDICACE

Toutes les lettres ne sauraient trouver les mots qu'il faut pour m'exprimer à dédier ce modeste travail qui est le fruit de plusieurs années d'étude. Du fond de mon cœur, tous d'abord je me dédie ce succès et je voudrais me remercier pour ce qu'il est maintenant **الحمد لله**.

À celui dont je porte le nom, à celui qui m'a fait une femme, ma source de vie, d'amour et d'affection, à mon support qui était toujours à mes côtés pour me soutenir et m'encourager, à mon roi, **PAPA**.

À mon paradis, à la prune de mes yeux, à celle dont les prières ont été la raison de ma réussite et le baume de mes blessures, à mon ange dans la vie, à la source de ma joie et mon bonheur, ma lune et le fil d'espoir qui allume mon chemin, ma moitié, ma reine, **MAMA**.

À **MOUNIR** ; mon frère bien-aimé, à mon petit soutien, au meilleur de mes jours, et à celui qui m'a tendu la main dans ma faiblesse, merci pour tout le soutien, merci pour toutes les démarches que tu as faites avec moi, merci beaucoup pour tout ce que vous m'avez apporté je vous souhaite du bonheur de tout mon cœur. Je vous souhaite prospérité et réussite dans la vie.

À mes petits frères **AYOUB**, **YOUCEF** et **YOUNES**, ma source de joie, Je tenais à vous remercier de m'avoir remonté le moral quand ça n'allait pas. Votre soutien moral a été très bénéfique pour moi.

À celui que dieu a choisi pour moi, à celui qui partagera avec moi le chemin de la vie, à celui qui m'a aidé et soutenu même s'il était loin de moi « loin des yeux, près du cœur », à mon mari, **BILLEL**.

À la plus douce, mon âme-sœur, ma copine, ma confidente, à la personne qui est toujours à mes côtés depuis plusieurs années, je te remercie de tout mon cœur pour ta présence pleine de sincérité, d'attention et d'amitié, merci ma sœur, **AMIRA**.

Un remerciement spécial pour **AICHA** et **GHIZLANE**, on a partagé ensemble cette aventure pleine des beaux souvenirs, merci pour votre présence et votre patience, on a prouvé qu'on est « **girls power** » pour de vrai.



SAFIA

ملخص

الهدف من دراستنا هو صياغة كبسولات غذائية مقوية تعتمد على بروتينات صنفين من الشوفان الجزائري، أ و غ. وقد أكد المسح العرقي النباتي في ولايات البليدة والجزائر العاصمة وتيبازة السمعة الجيدة للأثار العلاجية وفوائد الشوفان بين عامة الناس.

كشف تقييم الخصائص الفيزيائية الكيميائية للصنفين عن وجود نسبة بروتين عالية نسبياً بلغت 9.41% للصنف "غ" و 8.4% للصنف "أ".

تم تحليل البروتينات المستخلصة من الشوفان باستخدام طرق التحليل الطيفي مثل الأشعة فوق البنفسجية والأشعة فوق الحمراء للتأكد من صفاتها. تم إثبات النقاء العالي بطريقة كجيدال. من خلال التخطيط التجريبي، تم تحسين كميات البروتينات المستخدمة كمكونات نشطة. وأضيفت السواغات العضوية للحصول على كمية 500 ملجم. أظهرت القيم الغذائية والاختبارات الميكروبيولوجية أن الصنف "غ" كان الأكثر فعالية. وأظهر اختبار النشاط المضاد للأكسدة أن الصنف "أ" كان له نشاط جذري بنسبة 63.59%. تمت دراسة الخصائص الحسية للمسحوق وكشف تحديد البارامترات الدوائية عن معدل الذوبان ما يقارب نسبة 85% للصنف "أ"، وما يزيد قليلاً عن 50% للصنف "غ" بعد 300 دقيقة، واختبار التجانس الكتلي وفقاً لدستور الأدوية، وكذلك الاستقرار الفيزيائي الكيميائي والميكروبيولوجي خلال شهرين من التخزين.

الكلمات الرئيسية : بروتين- شوفان- كبسولة- الذوبان - مضاد للميكروبات- مضاد للأكسدة.

Summary

The aim of our study is to formulate fortifying diet capsules based on the proteins of two Algerian oat varieties, N and G. An ethnobotanical survey in the wilayas of Blida, Algiers and Tipaza confirmed the good reputation of oats for their therapeutic effects and benefits.

Evaluation of the physico-chemical properties of the two varieties revealed a relatively high protein content, at 9.41% for the Gharbi variety and 8.49% for the black variety.

The proteins extracted from the oats were analyzed by spectroscopic methods such as UV and FTIR to confirm their qualities. High purity was demonstrated by the Kjeldhal method. By experimental planning, the quantities of proteins used as active ingredients were optimized. BIO excipients were added for a qsp of 500mg.

Nutritional values and microbiological tests showed that variety G was the most effective. The antioxidant activity test showed that variety N had a radical activity of 63.59%. The organoleptic characteristics of the powder were studied. Determination of pharmacotechnical parameters revealed a pre-dissolution rate of 85% for variety N, and just over 50% for variety G after 300min, and a mass homogeneity test in line with pharmacopoeia and physico-chemical and microbiological stability during two months' storage.

Keywords : proteins- oats- capsule- dissolution- antimicrobial- antioxidant.

Résumé

L'objectif de notre étude est la formulation de gélules diététiques fortifiantes à base des protéines de deux variétés d'avoines Algériennes N et G. Une enquête ethnobotanique dans les wilayas de Blida, Alger et Tipaza a confirmé la bonne réputation des effets thérapeutiques et des avantages de l'avoine par les citoyens

L'évaluation des propriétés physico-chimiques des deux variétés a révélé une teneur relativement importante en protéines à un taux de 9,41% pour la variété Gharbi et de 8,49 % pour la variété noire.

Les protéines extraites de l'avoine ont été analysées par des méthodes spectroscopiques telles que l'UV et FTIR afin de confirmer leurs qualités. La grande pureté a été démontrée par la méthode Kjeldhal. Par planification expérimentale, les quantités en protéines utilisés comme principe actif ont été optimisés. Des excipients BIO ont été ajoutés pour une qsp de 500mg.

Les valeurs nutritionnelles et les tests microbiologiques ont mis en évidence la meilleure efficacité de la variété G. Le teste d'activités antioxydantes montre que la variété N présente une activité radicalaire de 63,59%. Les caractéristiques organoleptiques de la poudre ont été étudiées. La détermination des paramètres pharmaco techniques a révélé un taux de dissolution de près de 85% pour la variété N, et d'un peu plus de 50% de la variété G au bout de 300min et un test d'homogénéité de masse conforme à la pharmacopée et une stabilité physico-chimique et microbiologique pendant deux mois de stockage.

Mots clés : protéines- avoine- gélule- dissolution- antimicrobienne- antioxydant.

LISTE DES FIGURES

Page

Figure II.1 : Production céréalière, utilisation et stocks en Algérie.....	6
Figure II.2 : Description de la plante d'avoine et composition de son grain.....	7
Figure III. 1 : Représentation schématique de la structure de protéine : (a) structure primaire, (b) structure secondaire, (c) structure tertiaire et(d) structure quaternaire.....	13
Figure IV.1 : Les ingrédients entrant dans la composition des compléments alimentaires.....	22
Figure IV.2 : La différence entre un complément alimentaire et un médicament.....	24
Figure IV.3 : Structure des gélules.....	25
Figure V.1 : Répartitions des pourcentages en fonction de la région d'étude et du sexe des enquêtés.....	29
Figure V.2: Pourcentage d'âge des enquêtés selon leur connaissance des compléments alimentaires.....	29
Figure V.3 : Pourcentage d'âge des enquêtés selon leur connaissance de l'avoine.....	30
Figure V.4 : Pourcentage d'état des enquêtés selon leur utilisation des compléments alimentaires.....	30
Figure V.5 : Pourcentage d'état des enquêtés selon leur utilisation de l'avoine.....	31
Figure V.6 : Distributions des enquêtés selon la sensation suite à la prise des compléments alimentaires.....	31
Figure V.7. Distributions des enquêtés selon le souhait de trouver un complément alimentaire à base d'avoine.....	32
Figure V.8 : Le tamisage de la farine.....	35
Figure V.9 : Les étapes de la formulation des gélules diététique à base des protéines d'avoine.....	47
Figure V.10 : Dissolu-test.....	49
Figure VI.1 : Résultats des analyses physico-chimiques des deux variétés de l'avoine.....	50
Figure VI.2 : Extrait de protéines des deux variétés d'avoine.....	52
Figure VI.3 : Résultats des analyses physico-chimiques des extraits.....	53
Figure VI.4 : Spectre IRTF d'extrait protéines de la variété G.....	54
Figure VI.5 : Spectre IRTF d'extrait protéines de la variété N.....	55
Figure VI.6 : les spectres UV-VISIBLE des variétés G et N.....	56

Figure VI.7 : La solubilité de protéines à différent pH (photo originale).....	57
Figure VI.8 : Représentation graphique des valeurs observées en fonction des valeurs estimées de la dissolution.....	64
Figure VI.9 : Représentation graphique des valeurs observées en fonction des valeurs estimées de l'uniformité de masse.....	64
Figure VI.10 : Valeurs de R^2 et Q^2 en fonction des réponses.....	65
Figure VI.11 : Courbes iso-réponse de la dissolution en fonction de l'amidon avec l'alginate de sodium.....	66
Figure VI.12 : Courbes iso-réponse de l'uniformité de masse avec l'amidon et de l'alginate de sodium.....	67
Figure VI.13 : Représentation graphique des valeurs observées en fonction des valeurs estimées de la dissolution.....	69
Figure VI.14 : Représentation graphique des valeurs observées en fonction des valeurs estimées de l'uniformité de masse.....	69
Figure VI.15 : Valeurs de R^2 et Q^2 en fonction des réponses.....	70
Figure VI.16 : Courbes iso-réponse de la dissolution en fonction de l'amidon avec l'alginate de sodium.....	71
Figure VI.17 : Courbes iso-réponse de la dissolution en fonction de l'amidon et d'alginate de sodium.....	72
Figure VI.18 : Profils de libération de protéine en fonction du temps d'une gélule en milieu pH 1,2 de la variété G.....	73
Figure VI.19 : Profils de libération de protéine en fonction du temps d'une gélule en milieu pH 1,2 de la variété N.....	73

LISTE DES TABLEAUX

Page

Tableau II.1: La composition des grains d'avoine.....	3
Tableau II.2 : La teneur en minéraux dans l'avoine verte et les grains.....	9
Tableau II.3 : La classification taxonomique de l'avoine.....	10
Tableau III.1: Variabilité des teneurs en protéines (g/100g) des grains de céréales.....	19
Tableau III.2 : Digestibilité des protéines (% des protéines totales) de différentes céréales.....	20
Tableau IV.1: Les avantages et les inconvénients de la forme gélule.....	26
Tableau V.1: L'appareillage utilisé lors du travail expérimental.....	33
Tableau V.2 : Tableau des facteurs avec leurs niveaux.....	45
Tableau V.6 : Matrice d'expériences en valeurs codées.....	46
Tableau VI.1 : Résultats des analyses physico-chimiques de la farine d'avoine.....	50
Tableau VI.2 : Résultats des analyses physico-chimiques de deux extraits des protéines.....	53
Tableau VI.3 : Identification des pics FTIR des protéines de la variété G.....	55
Tableau VI.4 : Identification des pics FTIR des protéines de la variété N.....	56
Tableau VI.5 : l'influence du pH sur la solubilité des protéines.....	57
Tableau VI.6 : Les résultats de l'activité anti radicalaire de protéines variété N.....	58
Tableau VI.7 : Profil de l'activité antibactérienne des deux variétés d'avoine dans le milieu Sabouraud.....	59
Tableau VI.8 : Profil de l'activité antibactérienne des deux variétés d'avoine dans le milieu MH.....	60
Tableau VI.9 : Les résultats des différents tests antibactériens des deux variétés d'avoine diamètre en (mm).....	61
Tableau VI.10 : Matrice du plan d'expérience et les réponses enregistrées.....	63
Tableau VI.11 : Matrice du plan d'expérience et les réponses enregistré.....	68
Tableau VI.12 : Résultats d'analyse de l'uniformité de masse de la variété G.....	75
Tableau VI.13 : Résultats d'analyse de l'uniformité de masse de la variété N.....	75
Tableau VI.14 : La stabilité microbiologique dans les milieux MH et Sabouraud.....	76

ABREVIATIONS

FAO : Organisation des nations unies pour l'alimentation et l'agriculture.

OMS : Organisation Mondiale de la Santé.

VIP : Peptide Intestinal Vas actif.

PDCAAS : Protein digestibility corrected amino acide score.

PER : price earing ration.

CA : Les compléments alimentaires.

ANSES : Agence Nationale de Sécurité sanitaire da l'alimentation, de l'Environnement et du travail.

PA : Principes actifs.

ITGC : Institut Technique de Grandes Cultures.

AFNOR : Association française de Normalisation.

FTIR : Identification par Spectrométrie Infra-Rouge.

IR : Infra Rouge.

UV : Ultraviolet.

DPPH : Diphénylpcrylhydrazyle.

Ph Eur : Pharmacopée Européenne.

FTM : Formulaire thérapeutique Magistrale.

DGAT : Dénombrement des moisissures s mes Aérobies Totaux.

DMLT : Dénombrement des moisissures et levures totales.

Abs : Absorbance.

Milieu TSE : gélose tryptone soja.

Milieu MH : Milieu Mueller Hinton.

Qsp : Quantité suffisante pour.

OPI : Oat protein isolate.

pH : Potentiel hydrogène.

	Page
TABLE DES MATIERES	
RESUME	
LISTE DES FIGURES	
LISTE DES TABLEAUX	
ABREVIATION	
INTRODUCTION GENERALE.....	1
I – ETAT DE L’ART	3
II- PRESENTATION SUR L’AVOINE.....	5
II.1. Description de l’avoine.....	5
II.2. L’origine génétique de l’avoine.....	5
II.3. La culture de l’avoine.....	5
II.4. La culture de l’avoine dans le monde.....	6
II.5. La culture de l’avoine en Algérie.....	6
II.6. La description de la morphologie de la plante.....	7
II.7. La composition de l’avoine.....	8
II.7.1. Les fibres d’avoine.....	8
II.7.2. Les protéines d’avoine.....	8
II.7.3. Les lipides d’avoine.....	9
II.7.4. Les sels minéraux.....	9
II.7.5. Les vitamines.....	10
II.7.6. L’amidon.....	10
II.8. Classification taxonomique de l’avoine.....	10
II.9. Utilisations de l’avoine.....	11
II.9.1. L’alimentation humaine.....	11
II.9.2. L’alimentation animale (bétail).....	11
II.9.3. Vertus thérapeutiques de l’avoine.....	11
a) L’avoine et le diabète.....	11
b) L’avoine et l’hypertension.....	11
c) L’avoine et l’activité anti-inflammatoire dans les tissus.....	12
II.9.4. Utilisations cosmétiques (non alimentaires).....	12
III. PROTEINES VEGETALES.....	13
III.1. Définition.....	13

III.2. Amélioration de la qualité des protéines végétales apportées par les graines.....	14
III.2.1. En amont (agronomie et agriculture).....	14
III.2.2. En adoptant des technologies performantes et adaptées de préparation de produits riches en protéines.....	15
III.2.3. Au niveau de la préparation d'aliments.....	15
III.3. Classification des protéines d'avoine.....	15
III.3.1. Albumine d'avoine.....	15
III.3.2. Globuline d'avoine.....	16
III.3.3. Glutéline d'avoine.....	16
III.3.4. Prolamine de l'avoine.....	16
III.4. Propriétés fonctionnelles des protéines d'avoine.....	17
III.5. Solubilité des protéines d'avoine.....	17
III.6. Fonctionnalité et utilisations potentiel.....	18
III.6.1. Caractéristiques fonctionnelles des protéines d'avoine.....	18
III.6.2. Applications des protéines d'avoine.....	18
III.7. Nutrition.....	18
III.7.1. Composition en acides aminés et qualité des protéines.....	18
III.7.2. Facteurs antinutritionnels.....	18
III.8. Quantité et qualité des protéines.....	19
IV. COMPLEMENTS ALIMENTAIRES	21
IV.1. Historique des compléments alimentaires.....	21
IV.2. Définition des Compléments alimentaires.....	21
IV.3. Composition des Compléments alimentaires.....	22
IV.3.1. Les nutriments : vitamines et minéraux.....	22
a) Les vitamines.....	22
b) Les minéraux et les oligo-éléments.....	23
IV.3.2. Les substances à but nutritionnel ou physiologique.....	23
IV.3.3. Plantes ou préparations de plantes.....	23
IV.3.4. Autres ingrédients.....	23
IV.3.5. Les additifs, les arômes et les auxiliaires technologiques dont l'emploi est autorisé en alimentation humaine.....	23
IV.4. La différence entre les compléments alimentaires et les médicaments.....	24
IV.5. Compléments Alimentaires à Base de Protéines en Gélules.....	24

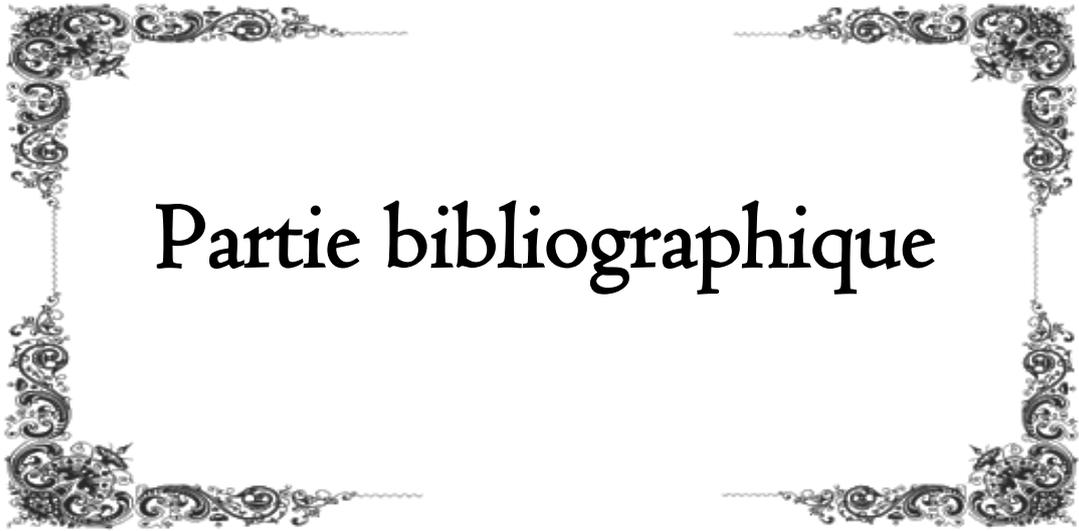
IV.5.1. Les gélules.....	25
IV.5.2. Les Avantages et les inconvénients des Compléments Alimentaires en Gélule.....	26
V. MATERIEL ET METHODES.....	27
V.1. Enquête ethnobotanique.....	28
V.1.1. Objectif de l'enquête.....	28
V.1.2. Cadre et méthodologie de l'étude.....	28
V.1.3. Analyse des données de l'enquête.....	29
V.1.3.1. Part des participants selon la région et le sexe.....	29
V.1.3.2. Connaissance des compléments alimentaires et l'avoine.....	29
V.1.3.3. Utilisation des compléments alimentaires et l'avoine.....	30
V.1.3.4. Selon la sensation suite à la prise des compléments alimentaires.....	31
V.1.3.5. Selon le souhait de trouver un complément alimentaire à base de protéine d'avoine.....	32
V.2. Matériel.....	33
V.2.1. Matériel végétal.....	33
V.2.2. Appareillage.....	33
V.2.3. Matières premières de la formulation.....	34
a) Principe actif.....	34
b) Excipients.....	34
V.3. Méthodes expérimentales.....	35
V.3.1 Préparation de la farine de l'avoine.....	35
V.3.2 Caractérisation physico-chimique de l'avoine.....	36
V.3.2.1 la détermination de la teneur en eau (Norme internationale ISO-712, 1979).....	36
V.3.2.2 la détermination de la teneur en fibres.....	36
V.3.2.3 la détermination de la teneur en matières grasses (Norme NFV03-713, 1980).....	37
V.3.2.4 Détermination de la teneur en protéines.....	38
V.3.2.5 Détermination de la teneur en cendres.....	38
V.3.3 Extraction des protéines d'avoine.....	39
V.3.4 Identification et caractérisation des protéines d'avoine.....	41
V.3.4.1 Solubilité des protéines d'avoine.....	41

V.3.4.2 Identification par spectroscopie infrarouge à transformée de Fourier (FTIR).....	41
V.3.4.3 Identification par La spectroscopie UV-Visible.....	41
V.3.4.4 Détermination de la teneur en eau des protéines.....	42
V.3.4.5 Détermination de la teneur en cendres des protéines.....	42
V.3.4.6 Détermination du taux de protéines.....	43
a) Minéralisation	43
b) Dosage.....	43
c) Titrage.....	43
V.3.4.7 Evaluation de l'activité antioxydante.....	43
V.3.4.8 Evaluation de l'activité antibactérienne.....	44
V.4. Formulation des gélules.....	44
V.4.1. Utilisation de plan d'expérience.....	44
V.4.2. Choix du plan d'expériences.....	45
V.4.3. Choix des facteurs.....	45
V.4.4. Choix des réponses	45
V.4.5. Construction du plan composite.....	46
V.4.6 Préparation des gélules.....	47
V.5. Caractérisation physico-chimique des gélules.....	47
V.5.1. Caractéristiques organoleptiques de la poudre.....	47
V.5.2. Homogénéité de la masse.....	47
V.5.3. Test de dissolution.....	48
V.5.4. L'étude de la stabilité microbiologique des gélules.....	49
VI. RESULTATS ET DISCUSSION.....	50
VI.1. Caractéristiques physico-chimiques des deux variétés de l'avoine	50
VI.1.1 Teneur en eau.....	50
VI.1.2. Matière minérale (teneur en cendres).....	51
VI.1.3. Teneur en protéines.....	51
VI.1.4. Teneur en matière grasse.....	51
VI.1.5. Teneur en cellulose brute.....	51
VI.2. Rendement d'extraction.....	52
VI.3. Identification et caractérisation des protéines extraites.....	52
VI.3.1. Caractérisation physico-chimique des extraits.....	52

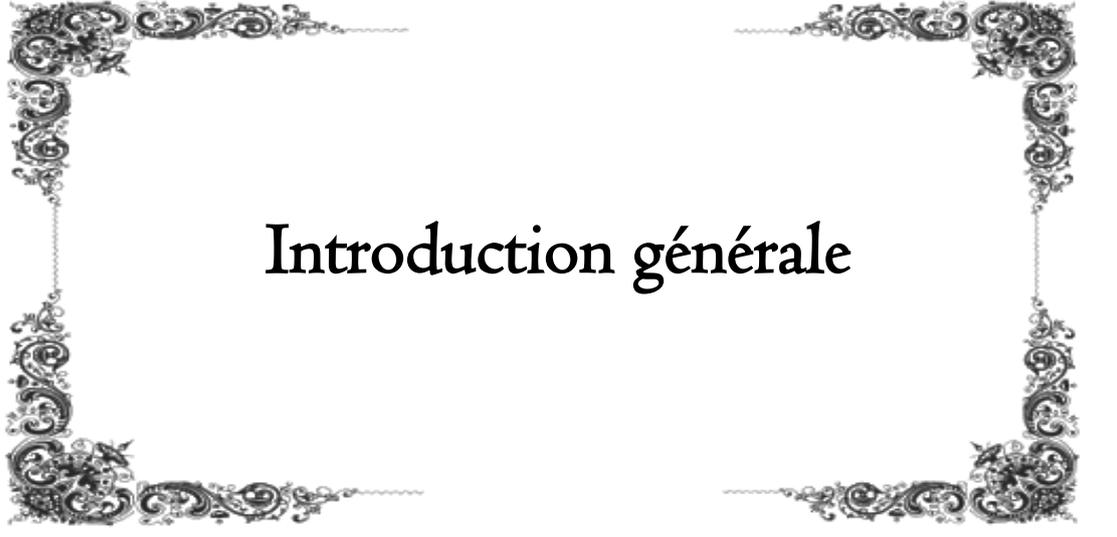
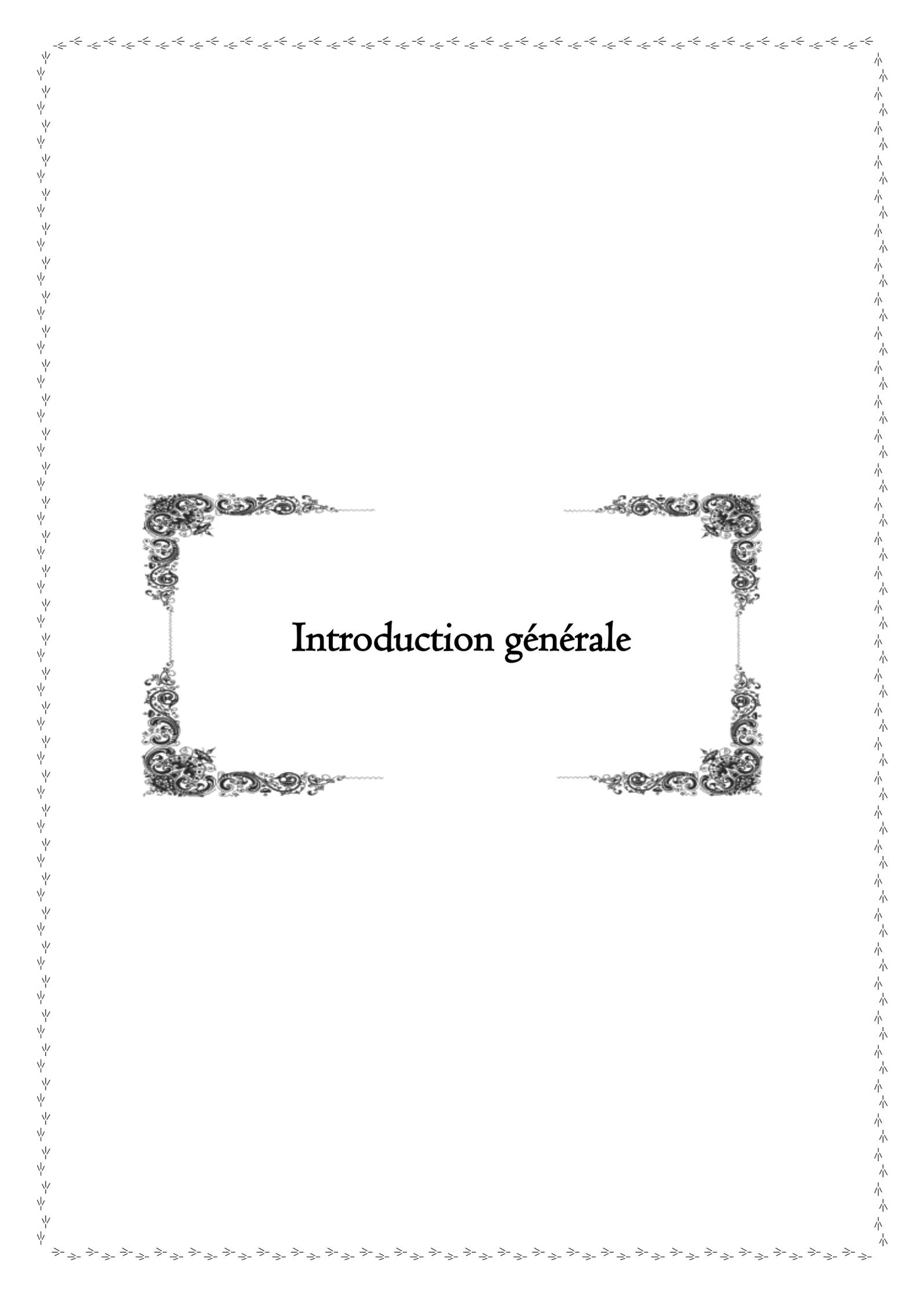
VI.3.1.1. Teneur en eau.....	53
VI.3.1.2. Teneur en cendres.....	53
VI.3.1.3. Taux en protéines.....	54
VI.3.2. Identification par spectroscopie infrarouge (FTIR)	54
a) Identification des pics FTIR des protéines variété N	55
VI.3.3. Identification par spectroscopie UV- VISIBLE.....	56
VI.3.4. La solubilité des extraits de protéines.....	57
VI.3.5. L'activité antioxydante.....	58
VI.3.6. Activité antibactérienne.....	58
VI.4. Formulation des gélules.....	63
VI.4.1. Formulation des gélules de la variété G.....	63
VI.4.1.1. Adéquation du modèle.....	63
a) Dissolution.....	64
b) Uniformité de masse.....	64
VI.4.1.2. Modélisation des réponses à l'aide du logiciel MODDE 6.....	65
a) Modélisation de la dissolution.....	65
b) Modélisation de l'uniformité de masse.....	66
VI.4.2. Formulation des gélules de la variété N.....	68
VI.4.2.1. Adéquation du modèle.....	68
a) La dissolution.....	69
b) Uniformité de masse.....	69
VI.4.2.2. Modélisation des réponses à l'aide du logiciel MODDE 6.....	70
a) Modélisation de la dissolution.....	70
b) Modélisation de l'uniformité de masse.....	71
VI.5. Caractérisation des gélules.....	72
VI.5.1. Caractérisation organoleptique des poudres.....	72
VI.5.2. Test de la dissolution.....	73
VI.5.3. Uniformité de masse.....	74
VI.5.4. Stabilité microbiologique.....	76
CONCLUSION GENERALE.....	78

ANNEXE

REFERENCE BIBLIOGRAPHIQUE



Partie bibliographique



Introduction générale

INTRODUCTION GENERALE

La question de la production des céréales a toujours été un enjeu majeur dans le progrès de l'industrie agricole. La diminution injustifiée de la production de ceux types fourragers, notamment de l'avoine, est principalement causée par la diminution des terres cultivées. Cependant ceci n'a pas diminué l'intérêt pour la culture et la demande de ces grains. L'avoine est considérée comme l'une des cultures céréalières les plus courantes et les plus importantes dans le monde. [1]

En effet, les céréales représentent des aliments essentiels pour leurs qualités nutritionnelles. Elles sont la principale source de calories et la base de tous les régimes alimentaires. [2] Les céréales représentent 45% de l'apport énergétique de l'être humain.

L'avoine était au départ une plante adventice dans les champs de blé et d'orge du croissant fertile. C'est une espèce annuelle rustique qui est actuellement cultivée sur des sols relativement pauvres dans les régions tempérées froides et humides d'Europe, d'Asie, d'Afrique et d'Amérique. [3] La quantité totale d'avoine produite dans le monde est d'environ 22,5 à 25 millions de tonnes. En Algérie, l'avoine occupe la quatrième place avec une superficie moyenne d'environ 68095,5 ha. [4]

D'une part, en raison de la composition en protéines et en acides aminés supérieure à celle des autres céréales, les protéines de l'avoine ont attiré l'attention des chercheurs ces dernières décennies d'années en particulier pour leurs utilisations chez l'Homme surtout les sportifs et les femmes enceintes. [5]. Le gruau d'avoine (grain décortiqué) [2] contient une quantité relativement plus élevée de protéines (15-20%), comparativement au blé (10,69-13,68%), le riz brun (7,50 %), l'orge (9,91 %), le sorgho (10,62 %), le millet (11,02 %) et le seigle (10,34%). [7]

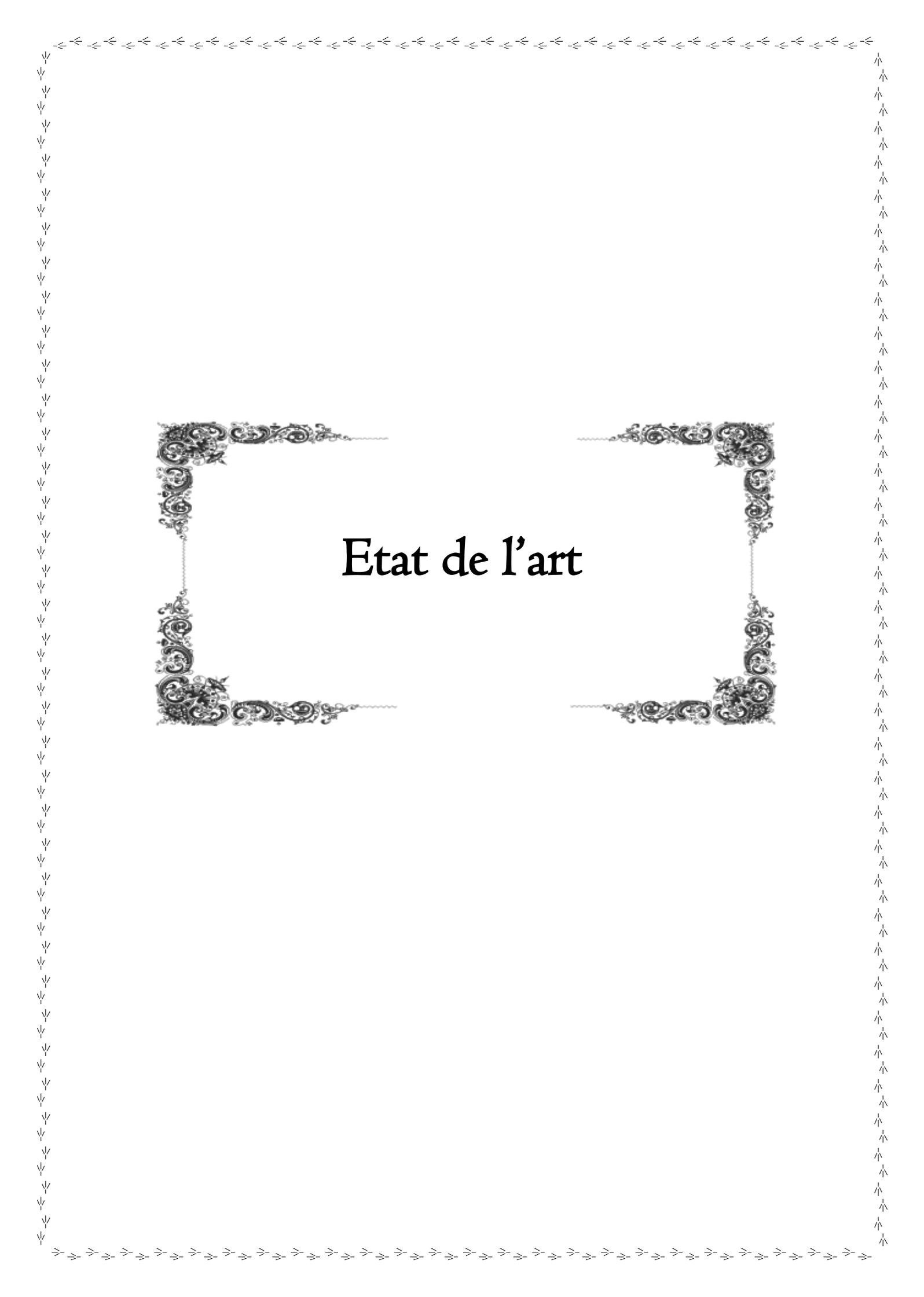
D'une autre part, la consommation des compléments alimentaires est devenue une tendance mondiale comme moyens préventifs contre certaines pathologies et aussi pour éviter l'obésité. Selon les recherches récentes, le patient recommande des produits Bio afin d'améliorer son mode de vie plus sain et pour son bien-être. [6]

Dans ce contexte précis et afin de réduire la facture des importations, l'Algérie encourage les recherches en faveur du secteur socio-économique, il s'agit de la valorisation de matières premières locales telles que l'avoine par extraction des protéines et formulation d'un complément alimentaire diététique et c'est l'objectif principal de notre présent travail.

L'originalité réside dans le fait que les compléments énergétiques riches en protéines sont actuellement importés et trop demandés par certaines catégories de patients. L'avoine très riche en acides aminés, non trop exploitée et réservée dans la plupart des cas à l'alimentation de bétails, c'est une problématique qui pourrait être très prometteuse.

Pour la présentation de ce travail nous avons retenu le plan suivant :

- La première partie de ce mémoire est une partie bibliographique constituée de quatre chapitres dont le premier est une présentation générale de l'avoine ainsi que leurs caractéristiques, leurs utilisations, classification botanique et la culture dans le monde entier et en Algérie suivi d'une présentation générale des protéines d'avoine et leurs différents types enfin la présentation générale des compléments alimentaires,
- Une synthèse bibliographique qui recense les travaux de valorisation des protéines d'avoine pendant cette dernière décennie constitue le dernier chapitre de la théorie.
- La deuxième partie de ce mémoire est la partie expérimentale constituée de deux chapitres. Le premier décrit tout le matériel utilisé pour la réalisation de notre travail entre autres la méthode d'extraction et la caractérisation des protéines d'avoine et la formulation du complément alimentaire sous forme de gélules Le deuxième chapitre présente les résultats obtenus avec interprétations et discussion.
- Enfin, le manuscrit est achevé par une conclusion générale qui met l'accent sur les résultats clés obtenus avec des perspectives et recommandations pour la continuité de cette étude.



Etat de l'art

I. ETAT DE L'ART

Les protéines d'avoine peuvent être extraites d'une matière première d'avoine, généralement de la farine d'avoine ou du son d'avoine, soit par voie humide, soit par voie sèche. Très peu d'études ont été réalisées jusqu'à présent sur l'extraction des protéines d'avoine et sont énumérés ci-dessous :

Joep Spaen, et al (2021), ont exposé une revue qui donne un aperçu des méthodes d'extraction des protéines d'avoine sèches et humides et de leurs efficacités. Les différentes méthodes d'extraction humides se sont révélées être le moyen le plus efficace d'extraire les protéines d'avoine des farines et du son d'avoine.

L'extraction sèche par classification aérienne de la farine d'avoine. Une fraction riche en protéines de 83 à 88 % de protéines a été produite à partir de farine d'avoine dégraissée au pentane et à l'hexane après deux étapes de classification à l'air avec une récupération de protéines de 7 à 16 % sur l'ensemble du processus. Après une seule étape de classification de l'air, une fraction, contenant 15 à 39 % de protéines a été obtenue, avec une récupération de protéines de 31 à 48 %.

Talina Vanessa et al (2013) ont étudié l'effet de l'hydrolyse partielle sur la structure et les propriétés gélifiantes des protéines globulaires de l'avoine. Les résultats ont révélé que les polypeptides acides (12S-A) de la globuline d'avoine exerçaient une grande influence sur la capacité de gélification de la globuline d'avoine.

Les grains d'avoine ont été réduits en farine à l'aide d'un moulin équipé d'un tamis de 0,5 mm. La farine a ensuite été dégraissée avec de l'hexane à température ambiante. La farine d'avoine dégraissée a été dispersée dans une solution alcaline ajustée à un pH de 9,2 à l'aide d'hydrogène-carbone de sodium à un pH de 9,2 en utilisant de l'hydroxyde de sodium dans un rapport farine-solvant de 1 : 6 et mélangée pendant 1 heure à température ambiante. La suspension est ensuite passée à travers un treillis métallique de 300 µm et le mélange perméable a été centrifugé à 7000 ×g pendant 15 minutes. Le surnageant a ensuite été recueilli et le pH a été ajusté à 5 avec de l'acide chlorhydrique 1 M suivi d'une centrifugation à 7000 ×g pendant 15 minutes. Le culot correspondant à la protéine précipitée a été lavé avec de l'eau distillée et lyophilisé pour une utilisation ultérieure. La teneur en protéines de la protéine d'avoine extraite a été déterminée à l'aide de l'analyseur d'azote Leco.

Monika Brückner-Gühmann et al ont Concentré les protéines d'avoine comme ingrédients alternatifs à un produit non laitier de type yaourt et a été développé par fermentation lactique d'une suspension d'OPC après avoir été soumis à un traitement thermique pour assurer la stabilité du produit pour assurer la gélatinisation de l'amidon.

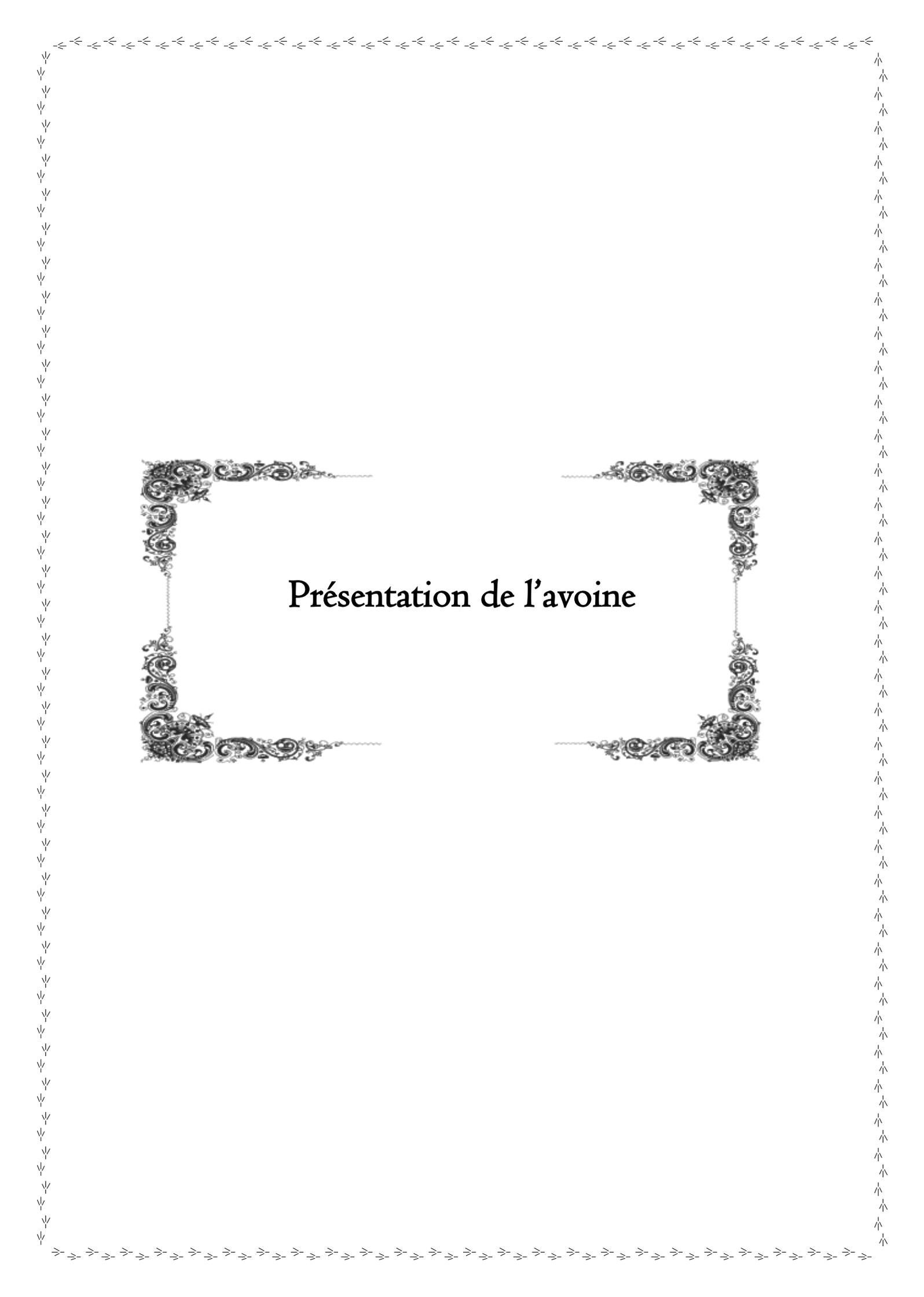
Le concentré de protéines d'avoine ainsi obtenu contenait 35 ± 5 g kg⁻¹ de matières grasses, $37 \pm 0,3$ g kg⁻¹ de cendres, 421 ± 2 g kg⁻¹ de protéines (Nx6,25), 447 ± 4 g kg⁻¹ de styrène (Nx6,25) 447 ± 4 g kg⁻¹ d'amidon et 59 ± 4 g kg⁻¹ de fibres alimentaires totales sur la base de la matière sèche. L'OPI a été produit à partir de l'OPC par extraction alcaline L'OPI contenait 870 g kg⁻¹ de protéines et moins de 10 g kg⁻¹ d'amidon.

Récemment, (2023), une étude intitulée « Elaboration et caractérisation de compléments alimentaires diététiques à base des fibres extraites de deux variétés d'avoine. »

Dans ce travail ils ont extrait les fibres d'avoine et ils ont démontré que celle-ci présente un bon effet antibactérien.

Notre contribution concerne l'extraction des protéines d'avoine et la formulation d'un complément alimentaire sous forme des gélules. Pour la réalisation de ce travail nous avons suivi la méthode d'extraction des protéines d'avoine suivante :

La suspension (rapport farine/solvant (w/v) 1 :10) a été ajustée immédiatement à un pH de 11,5 avec une solution de NaOH 1M, puis incubée pendant 60 minutes La suspension résultante a été centrifugée à 4000×g pendant 30 minutes, et le surnageant a été utilisé pour extraire la protéine. Les suspensions ont été ajustées immédiatement à un pH de 4,2 avec une solution de HCl à 10 %. La suspension résultante a été centrifugée à 4000×g pendant 30 minutes, après centrifugation, la teneur en protéines a été déterminée par la méthode de kjeldhal.



Présentation de l'avoine

II. PRESENTATION DE L'AVOINE

II.1. Description de l'avoine :

La céréale d'avoine, de gruau, de haber, de hafer, d'avena, de paille ou de gruau d'avoine, est cultivée pour ses graines. L'avoine est cultivée dans le monde entier particulièrement en Angleterre, en France, en Pologne, en Allemagne et en Russie. [8]

L'avoine est une variété de céréale cultivée pour ses graines et dont le nom est communément utilisé au pluriel, contrairement à d'autres variétés de céréales. L'avoine peut être consommée par les humains sous forme de flocons d'avoine, mais l'une des utilisations les plus courantes est comme aliment de bétail. Les chevaux consomment environ 20 % de leur ration quotidienne d'avoine ou moins.[9] C'est une céréale qui peut être cultivée comme en hiver ou en printemps, elle est réputée comme étant une plante exigeante, qui ne doit pas être installée sur des sols pauvres sans apport de fumier ou d'engrais, c'est une plante herbacée, monocotylédone, de la famille des *Poaceae*, sous-famille des *Pooideae*. [10]

II.2. L'origine génétique de l'avoine :

L'avoine est un modèle fascinant pour les études sur l'évolution des polyploïdes. Jusqu'à 30 espèces ont été identifiées dans le genre *Avena* dans une variété de niveaux de ploïdie, y compris les diploïdes, les polyploïdes, les tétraploïdes et les hexaploïdes 2, 3. [11,12]

II.3. La culture de l'avoine :

L'avoine est une céréale qui se cultive principalement dans les régions entre la mer du nord et les Alpes du Nord en Europe, où elle s'adapte bien aux terres fraîches et humides. Les facteurs environnementaux tels que la température, l'irradiation solaire et les conditions physiques et chimiques du sol présentent un impact sur la croissance de l'avoine. [13]

L'application d'azote (N), la date et le taux de semis et d'autres méthodes de gestion affectent également de manière significative la croissance de l'avoine. L'application d'azote (N) influence également la qualité des grains. Cependant, la disponibilité de l'eau est le facteur le plus crucial. La plante d'avoine a besoin d'une quantité d'eau plus importante que les autres petites céréales sur un sol profond qui retient beaucoup d'eau.

II.4. La culture de l'avoine dans le monde :

Les premières preuves de la culture de l'avoine datent d'environ la période du bronze ancien. Les botanistes confirment généralement que l'origine d'une espèce est probablement dans la zone avec la plus grande diversité de progénitures. [14]

Après le maïs, le riz, le blé, l'orge, le sorgho et le millet, l'avoine se classe actuellement au septième rang dans la production céréalière mondiale. En 2007, six pays ont été classés comme les premiers producteurs d'avoine : la Fédération de Russie, le Canada, la Pologne, les États-Unis d'Amérique, l'Espagne et la Finlande. Les autres nations qui produisent beaucoup d'avoine sont la Suède, l'Australie, la Chine, l'Allemagne et le Royaume-Uni selon la FAO. [15]

II.5. La culture de l'avoine en Algérie :

La culture de la céréale en Algérie remonte à l'époque des numidiens, qui ont divisé le pays en trois régions : la région Est centre et ouest. L'avoine est une culture importante en Algérie. Depuis des siècles, elle fut dominée par la population rurale. Le développement des céréales du pays a historiquement été lié aux modes d'utilisations et aux surfaces emblavées. [16]

En Algérie, l'avoine occupe la quatrième place avec une superficie moyenne de 68095,5 ha, juste derrière le blé dur, qui occupe une superficie moyenne de 1314014 ha, ce qui représente des superficies significatives par rapport aux autres céréales. [17], comme l'illustre la figure ci-dessous :

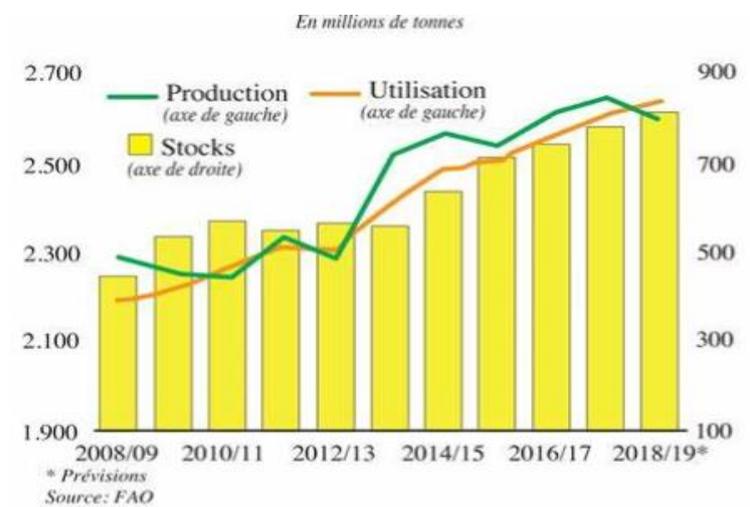


Figure II.1 : production céréalière, utilisation et stocks en Algérie. [16]

II.6. La description de la morphologie de la plante :

La plante est facilement identifiable car elle est une monocotylédone à tige cylindrique avec un port dressé de 25 à 150 cm de haut. [18] L'avoine fait partie des Gramineae. Elle est généralement associée à d'autres graminées qui occupent une place similaire dans l'agriculture, les feuilles se différencient à partir de points de la tige appelés nœuds. Les structures florales des graminées sont considérées comme hautement spécialisées, Les épillets peuvent être disposés en panicule où ils sont portés par des branches comme dans l'avoine, ou directement sur l'axe principal comme un racème par exemple. La tige est constituée d'une série de tubes cylindriques creux, longueur de la base de la tige au pédoncule sous l'inflorescence.

La position des nœuds est marquée extérieurement par une étroite zone de couleur foncée qui entoure la tige immédiatement au-dessus de celle-ci. Les entrenœuds, qui sont généralement au nombre de quatre à sept. [19]

La figure ci-après illustre cette description :

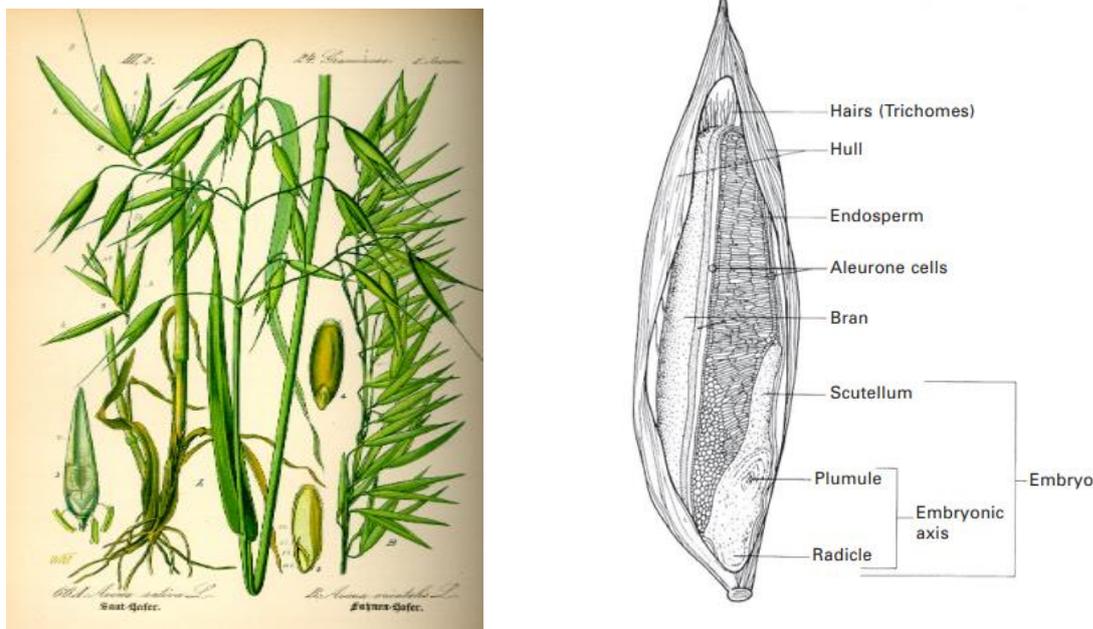


Figure II.2 : description de la plante d'avoine et composition de son grain.

II.7. La composition de l'avoine :

La composition chimique de l'avoine est présentée dans le tableau suivant :

Tableau II.1. : la composition des grains d'avoine [20]

Composants	Valeurs (mg : 100g)
Humidité	13,3
Protéines	13
Lipides	7,5
Fibres	10,03
Amidon	51,1
Calcium	60
Phosphore	372
Fer	3,8

II.7.1. Les fibres d'avoine :

L'avoine contient des fibres solubles et insolubles. L'avoine contient plus de fibres solubles que n'importe quelle autre céréale, ce qui se traduit par une digestion plus lente et une sensation de satiété. Les β -glucanes sont une classe de polysaccharides non digestibles que l'on trouve dans la nature dans des sources telles que les céréales, l'orge, la levure, le maïs et le blé. [20]

II.7.2. Les protéines d'avoine :

Quatre subdivisions composent la partie protéique de l'avoine : la globuline (principale portion de stockage 50-80 %), les prolamines (avénines 4-15 %), l'albumine (1-12 %) et la glutéline (10 %).[21] La seule céréale contenant l'avénaline ; une protéine de type globuline ou légumineuse, comme principale protéine de stockage, est l'avoine. En raison de leur solubilité dans l'eau, les globulines peuvent être transformées en lait mais pas en pain. Les prolamines sont les protéines céréalières les plus courantes, comme le gluten et la zéine. L'avénine est une protéine prolamine mineure trouvée dans l'avoine.

Selon L'OMS la qualité de la protéine d'avoine est presque équivalente à celle de la protéine de soja, qui est considérée comme équivalente à la viande, au lait et aux œufs.

L'amande d'avoine sans coque (gruau) présente une teneur en protéines de 12 à 24 %, étant la plus élevée des céréales. [20]

II.7.3. Les lipides d'avoine :

L'avoine contient beaucoup de lipides atteignant les 10 %. Contrairement au blé et à la plupart des autres céréales, qui sont d'environ 2 à 3 %. Le maïs représente environ 17 % de cette quantité. L'avoine contient 33 % de lipides polaires (8 à 17 % de glycolipides). Il est supérieur aux autres céréales d'environ 33 % (8-17 % de glycolipides et 10-20 % de phospholipides).[21]

II.7.4. Les sels minéraux :

L'avoine contient également de nombreux sels minéraux. Le tableau 02 indique la teneur en minéraux des graines d'avoine et de l'avoine verte. [20]

Tableau II.2. : la teneur en minéraux dans l'avoine verte et les grains

Minéraux	Avoine vert	Grains d'avoine
K	355	1140
Ca	79,6	660
Mg	129	715
P	342	330
Mn	3,7	8,5
Fe	5,8	39
Zn	4,5	19,2

II.7.5. Les vitamines :

Les vitamines hydrosolubles et liposolubles sont présentes dans l'avoine. Les graines contiennent les vitamines suivantes :

Le mucilage contient 0,862 mg/100 g de vitamine A et 0,862 mg/100 g de carotène. Le taux de carotène dans le mucilage est inférieur à 1,0 g/100 g pour les flocons d'avoine. La quantité de vitamine B1/thiamine est de 3,89-7,07 mg/kg et la quantité de vitamine B6 est de 56 nmol/g. [20]

II.7.6. L'amidon :

L'amidon est présent dans l'endosperme du granule d'avoine, et des traces sont présentes dans l'embryon et d'autres organes. Les granules d'amidon d'avoine ne s'intègrent pas dans une matrice protéique continue. La protéine se trouve dans des structures invisibles. [23]

II.8. Classification taxonomique de l'avoine :

Les taxonomistes diffèrent dans la façon dont les espèces sont classées et comment elles sont nommées. Le tableau suivant représente la classification taxonomique d'avoine.[22]

Tableau II.3. : la classification taxonomique de l'avoine. [22]

Règne	Plantae
Sous- Règne	Tracheobiona
Division	Magnoliopha
Classe	Liliopsida
Sous-classe	Commelinide
Ordre	Cyperales
Famille	Poaceae
Sous-famille	Pooideae
Tribu	Aveneae
Genre	Avena
Espèce	Avena sativa , : A. sativa (common oat), A. byzantina, A. fatua, A. diffusa, A. orientalis)

Les espèces du genre Avena sont environ quinze et proviennent de l'Europe du Nord, de l'Asie (Chine) et de l'Afrique (Éthiopie). Aujourd'hui, on la cultive dans les régions tempérées du monde, en Russie, au Canada et aux États-Unis. [24]

II.9. Utilisations de l'avoine :

II.9.1. L'alimentation humaine :

En général, les produits à base d'avoine sont fabriqués à partir du grain entier tandis que les autres produits céréaliers sont fabriqués à partir de grains dont le germe et le son ont été retirés. L'avoine entière présente une composition unique qui permet d'obtenir des produits sains. L'avoine entière contient le plus de protéines.[25]

II.9.2. L'alimentation animale (bétail) :

Lorsque la plante est récoltée avant l'épiaison, elle est un bon aliment pour les ruminants en fourrage.[10] L'avoine est cultivée non seulement comme céréale, mais aussi pour être utilisée comme fourrage, paille de lit, foin, ensilage et paillettes. L'avoine est un fourrage d'hiver important, principalement fraîche mais les excédents sont transformés en ensilage ou en foin pour être utilisés pendant l'hiver. [26]

II.9.3. Vertus thérapeutiques de l'avoine :

a) L'avoine et le diabète :

Une cible essentielle dans l'approche thérapeutique des glucanes de l'avoine est la résistance à l'insuline, principale composante et facteur du syndrome métabolique associé au diabète de type 2. La sensibilité à l'insuline est inversement corrélée à l'apport alimentaire en glucanes et en fibres solubles et insolubles. Plusieurs essais cliniques ont utilisé les glucanes de l'avoine pour réduire le taux de glucose dans le sang. [27]

b) L'avoine et l'hypertension :

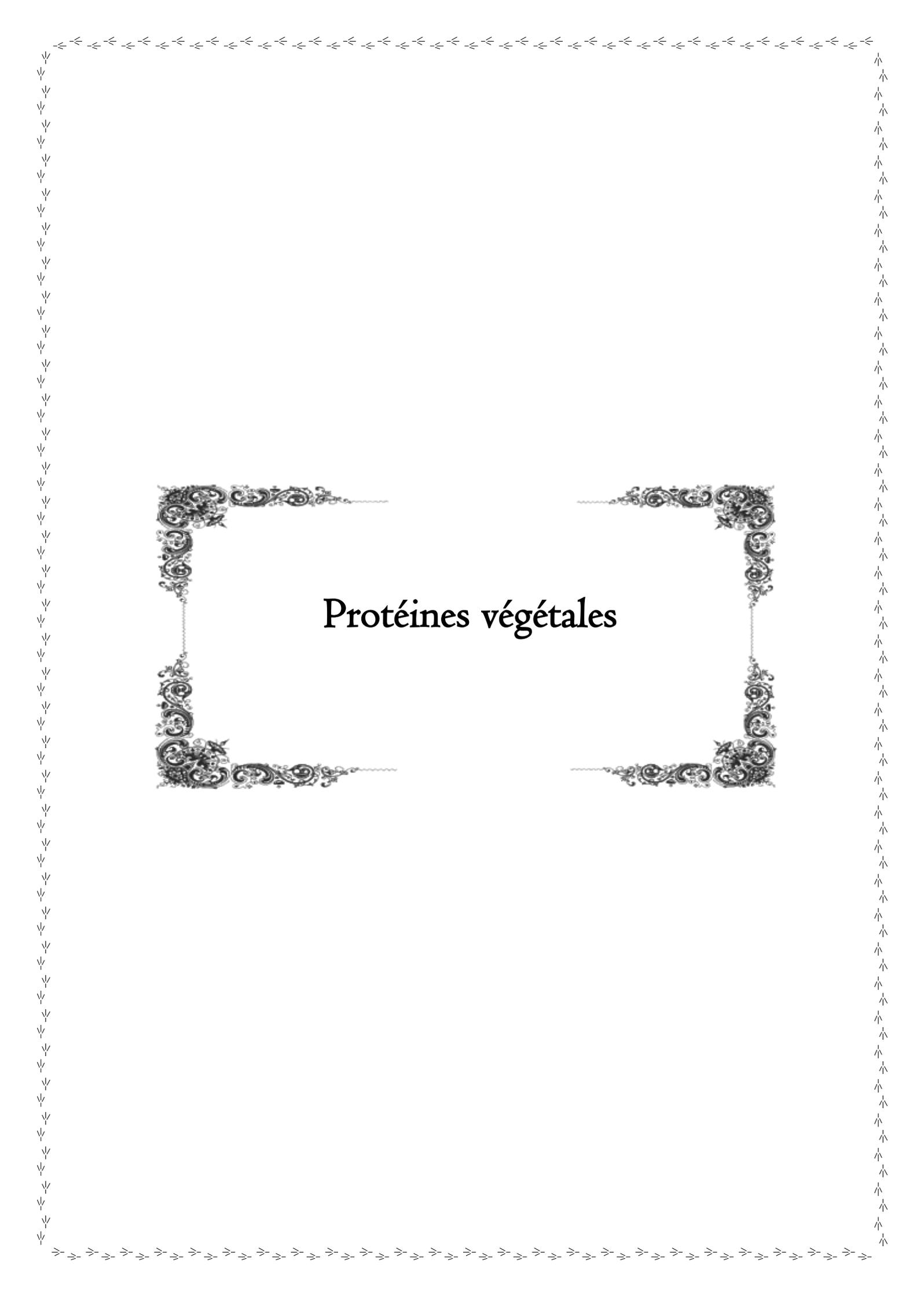
Un essai clinique avec des aliments contenant des glucanes d'avoine a montré une réduction de la pression artérielle et un indice de masse corporelle supérieur à la moyenne (31,5 kg/m²). Un autre essai a également démontré l'efficacité de l'avoine contre l'hypertension. [28]

c) L'avoine et l'activité anti-inflammatoire dans les tissus :

En utilisant le peptide intestinal vas actif (VIP) comme déclencheur pour provoquer une inflammation dans une culture de cellules de peau humaine, l'activité anti-inflammatoire topique de l'extrait de farine d'avoine a été étudiée. Après l'application de VIP, la vasodilatation a augmenté considérablement. Après le traitement avec l'extrait de farine d'avoine, la surface moyenne des vaisseaux dilatés et l'œdème ont considérablement diminué.[28]

II.9.4. Utilisations cosmétiques (non alimentaires) :

L'avoine est utilisée depuis longtemps dans les produits cosmétiques. Les caractéristiques de l'amidon et des lipides font de l'avoine un ingrédient utile dans les produits de bain pour soulager les démangeaisons et l'érythème fessier. Parmi les autres produits fabriqués à partir de l'avoine, citons les nettoyants destinés remplacer le savon dans les masques faciaux, le savon pour nettoyer les peaux sèches et grasses, le shampoing, les lotions, les additifs pour le bain et les produits pour la peau.[29]



Protéines végétales

III. PROTEINES VEGETALES

III.1. Définition :

Les protéines sont des polymères azotés naturels d'une taille pouvant aller de quelques milliers à plusieurs millions de Daltons. Les protéines sont constituées d'un ensemble linéaire d'acides aminés liés par des liaisons peptidiques. Cet assemblage possède une organisation tridimensionnelle (ou repliement) distincte. Il existe quatre niveaux d'organisations structurales de la protéine, de la séquence au repliement et à l'association.

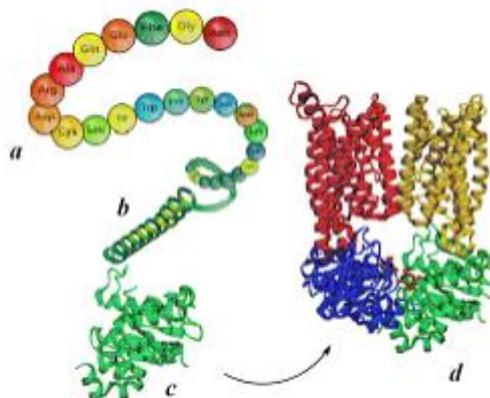


Figure III. 1 : Représentation schématique de la structure de protéine : (a) structure primaire, (b) structure secondaire, (c) structure tertiaire et (d) structure quaternaire.

La succession linéaire des acides aminés, reliés entre eux par des liaisons peptidiques, est représentée dans la structure primaire (Figure III.1.a). La structure secondaire (Figure III.1.b) décrit le repliement local de la chaîne principale d'une protéine et concerne les arrangements spatiaux entre les résidus d'acides aminés proches. La chaîne polypeptidique reçoit fréquemment une structure ordonnée et périodique en raison de ces interactions. De plus, certaines conformations sont clairement favorisées car elles sont stabilisées par des liaisons hydrogènes entre les groupements amides (-NH) et carbonyles (-CO) du squelette peptidique. Les composants les plus cruciaux de la structure secondaire sont les hélices et les feuilles.

Le repliement de la chaîne polypeptidique dans l'espace provoqué par les interactions entre les résidus d'acides aminés très éloignés dans la séquence linéaire est représenté par la structure tertiaire d'une protéine (Figure III.1.c).

On parle généralement de structure tridimensionnelle ou 3D. Les ponts disulfures sont des liaisons covalentes qui stabilisent la structure tertiaire ainsi que de nombreuses liaisons de faible énergie. Les protéines avec plusieurs chaînes polypeptidiques présentent un niveau d'organisation structurale supplémentaire.

En effet, la structure quaternaire des protéines (Figure III.1.d) est créée par l'intégration d'au moins deux chaînes polypeptidiques identiques ou différentes par des liaisons non covalentes (liaisons hydrogènes, liaisons ioniques, interactions hydrophobes). Chacune de ces chaînes est connue sous le nom de monomère (ou sous-unité), tandis que l'ensemble est connu sous le nom d'oligomère ou de protéine multimérique. La fonction d'une protéine est directement liée à sa structure tridimensionnelle : si l'utilisation d'un agent dénaturant casse cette structure, la protéine perd sa fonction.[30]

III.2. Amélioration de la qualité des protéines végétales apportées par les graines :

III.2.1. En amont (agronomie et agriculture) :

En augmentant les taux de production (méthodes culturelles - productions BIO). Il est évident aujourd'hui que produire de la nourriture sans rentabilité est un luxe que seules quelques personnes peuvent s'offrir.

Il est important de contrôler la présence de facteurs nocifs ou antinutritionnels liés à certaines graines, tout comme celle des contaminants tels que les pesticides. Les facteurs toxiques ou antinutritionnels doivent être éliminés ou inactivés (par la chaleur pour certains d'entre eux).

Ce sont des composés extrêmement variés, y compris des protéines (facteurs anti-trypsiques, lectines, hémagglutinines...), des alcaloïdes, des polyphénols, des aflatoxines, des thioglycosides, des saponines, des phytates, des glycosynolates, des thioglycosides, des facteurs cyanogénétiques, des facteurs de flatulence et des agents de favisme.[31]

III.2.2. En adoptant des technologies performantes et adaptées de préparation de produits riches en protéines :

Il est possible d'enrichir les protéines de la graine en éliminant certains de ses composants tels que la coque ou la pellicule, en extraire de l'huile ou des composés solubles tels que l'éthanol ou une solution aqueuse à pH 4,5.

Le tourteau (résidu protéique) peut être trituré en flocons et broyé pour créer une farine qui contient des composés non extraits (fibres...). Il est également possible d'extraire les protéines d'un tourteau en les dissolvant dans des solutions aqueuses à un pH légèrement alcalin, en séparant la phase aqueuse d'un résidu insoluble, puis en précipitant les protéines de manière « sélective » en les plaçant à un pH moyen. L'insoluble récupéré est séché et transformé en poudre d'isolement. Ces isolats ont souvent une teneur en protéines supérieure à 90 %.[31]

III.2.3. Au niveau de la préparation d'aliments

Il est peu probable que le client opte pour cet isolat en raison de sa richesse en acides aminés nécessaires. Il est essentiel de « cuisiner » un isolat pour en faire un aliment délice et populaire. Les qualités organoleptiques, la solubilité, les propriétés gélifiantes, les propriétés moussantes, la thermo coagulabilité et l'aptitude au filage sont toutes des propriétés fonctionnelles nécessaires des isolats protéiques.[31]

III.3. Classification des protéines d'avoine :

III.3.1. Albumine d'avoine :

La fraction soluble de l'avoine est riche en protéines, principalement des albumines, représentant de 1 à 12 % du total, avec des poids moléculaires variant de 14 à 47 000. Des protéines similaires aux albumines du blé, appelées puroindolines, ont également été identifiées, suggérant un rôle dans la protection contre les agents pathogènes.

En termes d'enzymes, l'avoine offre une variété incluant des protéases, de la maltase, de l' α -amylase, de la lichénase, de l'hydroxylase d'acide phénoxyacétique, de la phosphatase, de la tyrosinase et de la lipase. Ses lipides sont plus abondants que dans d'autres céréales et se concentrent dans les couches subaleurones et la couche aleurone, où se trouve également l'activité lipasique. Sur le plan des acides aminés, la fraction albumine présente des niveaux élevés de lysine, d'asparagine-acide aspartique et d'alanine, avec moins de glutamine-acide glutamique.

L'avoine contient également des inhibiteurs de protéinase, en quantités moindres que d'autres céréales, avec neuf inhibiteurs de la chymotrypsine et quatre inhibiteurs de la trypsine.[32]

III.3.2. Globuline d'avoine :

La plupart des protéines de l'avoine, classées en globuline pour leur solubilité dans une solution saline tamponnée, se divisent en deux catégories de tailles. La principale, la 12 S, a un poids moléculaire de 322 000 et est composée de sous-unités alpha et beta. Ces globulines sont riches en acides aminés basiques et en acide glutamique et aspartique, et ont été identifiées comme des lectines. En plus des globulines insolubles des vacuoles protéiques, des vicilines de taille plus petite sont également présentes, avec une composition en acides aminés différente.

Ces protéines, principalement stockées dans l'endosperme et autour de l'embryon, montrent des similitudes avec celles trouvées dans d'autres céréales, suggérant une conservation et une expression similaires à celles des légumineuses. [32]

III.3.3. Glutéline d'avoine :

Des chercheurs ont fractionné la glutéline, une protéine résiduelle, en plusieurs composants par électrophorèse. Après avoir retiré les albumines, les globulines et les prolamines des graines d'avoine, ils ont obtenu deux fractions protéiques distinctes. Les analyses ont montré que la plupart des polypeptides de la fraction résiduelle étaient similaires aux prolamines et aux globulines, mais quelques groupes polypeptidiques mineurs semblaient être des glutélines spécifiques à l'avoine. Les résultats suggèrent que l'efficacité des extractions précédentes est liée à la quantité de glutélines détectées, avec des taux variant de 5 à 66 %. Une analyse spécifique a confirmé que les globulines sont les principales protéines de la fraction résiduelle d'avoine, indiquant que la vraie glutéline ne représente probablement que moins de 10 % des protéines de l'avoine.[32]

III.3.4. Prolamine de l'avoine :

L'avénine, est une protéine essentielle de la fraction prolamine, se distingue par son polymorphisme homogène et sa taille de 17 à 34 000. Comparées aux prolamines du blé et de l'orge, les avénines présentent un poids moléculaire plus bas et moins de diversité.

Elles partagent une homologie avec les prolamines du blé, du seigle et de l'orge, présentant des caractéristiques communes telles qu'une faible teneur en proline et une forte teneur en leucine et valine.[32]

III.4. Propriétés fonctionnelles des protéines d'avoine :

Les protéines d'avoine, recherchées pour leurs propriétés fonctionnelles et nutritionnelles, ont été chimiquement modifiées pour améliorer leurs caractéristiques. Les études ont montré que la globuline d'avoine conserve sa structure native malgré un chauffage prolongé, offrant ainsi des propriétés émulsifiantes et de liaisons remarquables. Les isolats de protéines d'avoine, souvent utilisés dans l'industrie alimentaire, peuvent fournir des produits à valeur ajoutée en raison de leur composition en acides aminés.

L'extraction des protéines d'avoine se fait souvent à pH alcalin, ce qui peut entraîner une dénaturation partielle et des changements dans la structure de la protéine. Cependant, ces altérations n'affectent pas la qualité ni la digestibilité des protéines.

L'utilisation de la transglutaminase peut améliorer les propriétés de gélification de la globuline d'avoine à pH neutre, évitant ainsi la nécessité de recourir à un pH alcalin ou à des modifications chimiques. De plus, la transglutaminase permet de polymériser la globuline d'avoine, améliorant ainsi ses capacités de liaison à l'eau et aux graisses. Cette protéine polymérisée, plus soluble à un pH de 4 à 5, pourrait être utilisée dans les boissons acides.[32]

III.5. Solubilité des protéines d'avoine :

Les protéines d'avoine ont plusieurs propriétés de solubilité : les albumines sont solubles dans l'eau, les globulines sont solubles dans les solutions salines, les prolamines sont insolubles dans un milieu aqueux et soluble dans un solvant hydroalcoolique (60 à 70 % alcool v/v) et les glutélines sont solubles dans un milieu très alcalin (pH > 10). Les dicotylédones (légumineuses et oléagineuses) contiennent principalement des globulines (60 à 90 % des protéines), tandis que les glutélines et les prolamines sont les principales protéines des céréales (80 à 90%).[33]

Les OPI ont généralement montré des propriétés moussantes et émulsifiantes faibles dans une plage de pH comprise entre 4 et 7, conformément à la solubilité. C'est pourquoi l'utilisation de protéines végétales dans les aliments est limitée.[34]

III.6. Fonctionnalité et utilisations potentiel :

III.6.1. Caractéristiques fonctionnelles des protéines d'avoine :

Les propriétés fonctionnelles des protéines dépendent de leur taille, de leur structure et de leur interaction avec d'autres composants alimentaires tels que les glucides et les lipides. Ces propriétés comprennent la solubilité, la capacité de liaison à l'eau et aux graisses, la formation de gel, les comportements rhéologiques, ainsi que les propriétés émulsifiantes et moussantes. [34]

III.6.2. Applications des protéines d'avoine :

L'obtention de la qualité technique, sensorielle et nutritionnelle souhaitée est le défi de l'utilisation de l'avoine et d'autres ingrédients protéiques végétaux pour la fabrication d'aliments riches en protéines. L'enrichissement en protéines végétales cible principalement les céréales et les produits laitiers. Il n'y a que 5 à 13 % de protéines dans le pain, les pâtes ou le yaourt. Dans l'UE, les produits alimentaires doivent avoir 12 ou 20 % de leur contenu énergétique en protéines pour pouvoir porter l'allégation « source de protéines » ou « riche en protéines ». [34]

III.7. Nutrition

III.7.1. Composition en acides aminés et qualité des protéines :

La qualité des protéines alimentaires ne dépend pas seulement de leur teneur en acides aminés, mais aussi de leur digestibilité et de leur disponibilité. Les protéines végétales sont généralement moins digestibles que les protéines animales, mais leur appétence peut être améliorée par une transformation. La digestibilité peut être affectée par des facteurs tels que la température et l'humidité pendant le traitement. Des méthodes telles que le PDCAAS, le bilan azoté, et la digestibilité in vitro ou in vivo sont utilisées pour évaluer la qualité des protéines. [35]

III.7.2. Facteurs antinutritionnels :

En raison de leur capacité à inhiber les enzymes digestives ou à se lier aux protéines, la présence de niveaux élevés d'inhibiteurs de protéase dans le soja et d'autres légumineuses et de tanins condensés dans les céréales telles que le sorgho peut également entraîner une diminution significative de la digestibilité des protéines et des acides aminés.

De plus, la consommation de protéines spécifiques du blé, de l'orge et du seigle a été associée à la maladie coeliaque et à des réactions allergiques chez 1 à 2 % des personnes. Les protéines peuvent sensibiliser une personne et déclencher une réaction allergique qui est médiée par les immunoglobulines E. En raison de leur teneur élevée en cystéine et des liaisons disulfures conservées, les protéines d'origine végétale couramment utilisées ont une structure protéique native intrinsèquement stable.

Par conséquent, ces protéines sont relativement thermostables et ne présentent que des changements mineurs de conformation après une transformation alimentaire courante.

Ces protéines sont plus facilement identifiables pour les réponses médiées par un immunoglobuline E car elles peuvent conserver leur structure native.[35]

III.8. Quantité et qualité des protéines :

La teneur en protéines des céréales varie considérablement, influencée par des facteurs génétiques, agronomiques et environnementaux.

Cependant, l'utilisation d'intrants agronomiques comme les engrais peut améliorer la teneur en protéines des cultures.

Les protéines céréalières sont déficientes en certains acides aminés essentiels mais riches en acides aminés soufrés, ce qui les rend complémentaires aux protéines des légumineuses. Elles ont un faible taux d'utilisation nette et d'efficacité protéique, avec des valeurs PER variables selon les céréales. Les grains de céréale présentent la variabilité des teneurs en protéines (g/100g) suivante :

Tableau III.1. : Variabilité des teneurs en protéines (g/100g) des grains de céréales.

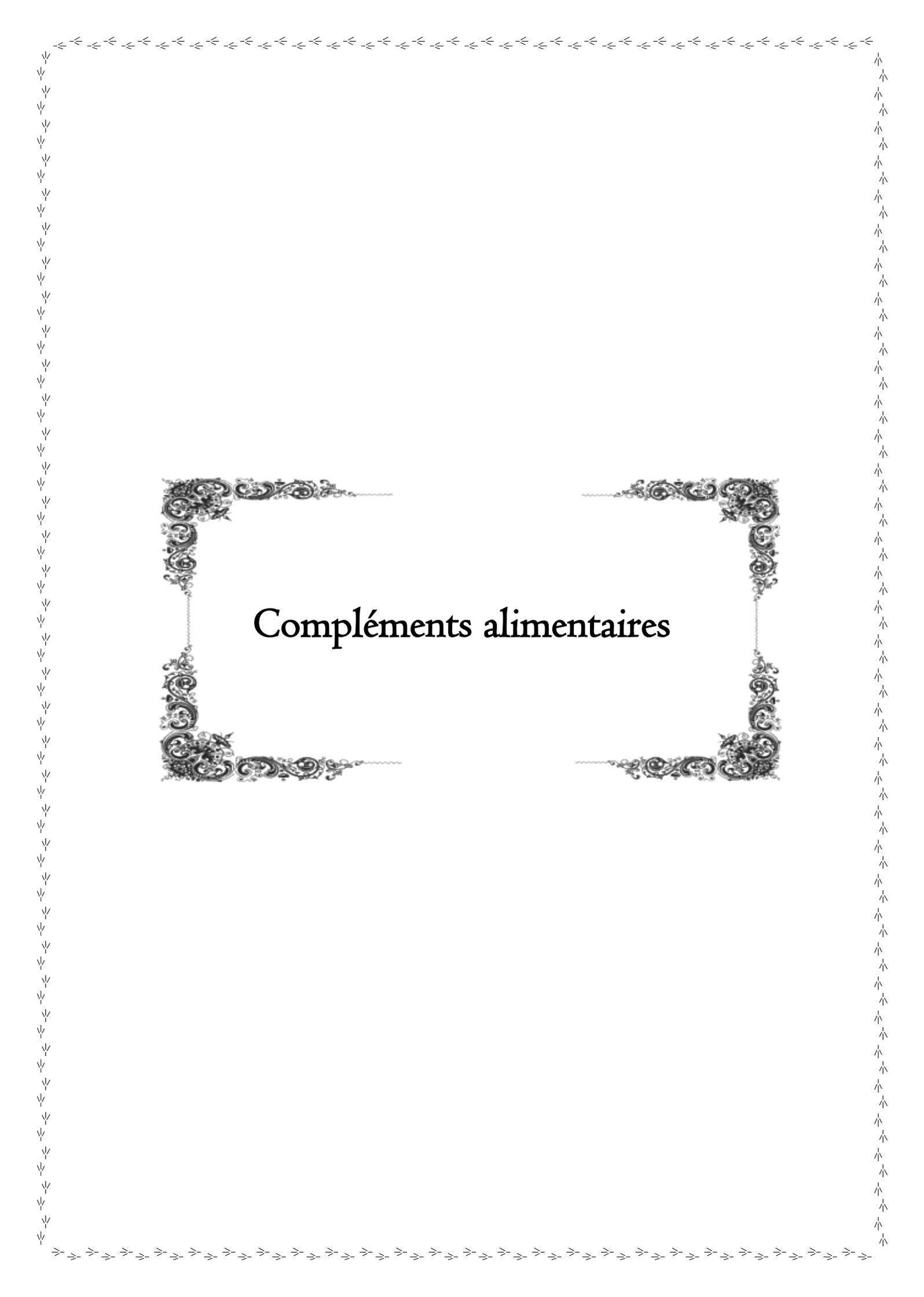
Céréale	Nom botanique	Fourchette	Moyenne
Blé	Triticum aestivum	5,6-21,0	11,8
Riz	Oriza Sativa	5,4-13,6	8,5
Maïs	Zea mays	8,0-18,2	11,0
Orge	Hordeum vulgare	6,3-13,5	10,7
Avoine	Avena byzantina	10,7-16,4	13,6
Seigle	Secale cereale	4,5-13,5	10,0

La digestibilité des protéines du blé est la plus élevée, comme le montre le tableau III.2. Le gluten de blé a la valeur de digestibilité des protéines la plus élevée, suivi de la fraction d'hordéine de l'orge. La digestibilité des protéines du riz et du maïs est similaire, mais la transformation réduit considérablement leur digestibilité. La disponibilité des protéines dépend principalement de la capacité de l'organisme à les digérer correctement, car une digestion incomplète a un impact négatif sur l'absorption et l'utilisation des protéines par l'organisme. Le sorgho contient les protéines utilisables les plus faibles, tandis que le blé et l'avoine contiennent les protéines utilisables les plus élevées.

Les différentes céréales présentes la digestibilité des protéines (% des protéines totales) suivantes :

Tableau III.2. : Digestibilité des protéines (% des protéines totales) de différentes céréales.[36]

Céréales	Digestibilité (%)
Blé	87,2
Riz	77,5
Maïs	70,6
Orge	75,4
Avoine	78,5
Protéines animales	96,0



Compléments alimentaires

IV. COMPLEMENTS ALIMENTAIRES

IV.1. Historique des compléments alimentaires :

Les compléments alimentaires (CA) ont commencé dans les années 1970 avec un précurseur de la "**juste dose**", qui repose sur l'idée que les Hommes peuvent se sentir mieux par un apport optimal de substances présentes dans la nature. Les compléments alimentaires ont été apparus aux États-Unis. Le début du marché des CA en France remonte aux années 1980. En 1987, les premiers CA non pharmaceutiques ont apparu principalement dans les magasins de régimes. Le marché s'est développé vers les années 1991 avec le remplacement des vitamines et des minéraux. Le premier décret Français sur les CA a été promulgué le 15 avril 1996 et les a considérés comme des « **produits destinés à être consommés en complément de l'alimentation courante afin de remédier à l'insuffisance réelle ou supposée des apports journaliers** ». [37]

IV.2. Définition des Compléments alimentaires :

Les denrées alimentaires complémentaires servent à compléter le régime alimentaire normal. Elles constituent une source concentrée de nutriments ou d'autres substances ayant un effet physiologique ou nutritionnel, en isolée ou en combinaison. Elles sont commercialisées sous forme de doses, c'est-à-dire sous des formes de gélules, pastilles, comprimés, pilules et autres formes similaires, ainsi que sous forme de sachets de poudre, de flacons compte-gouttes et d'autres formes similaires de préparations liquides ou en poudre destinées à être prises en unités mesurées de petite quantité.[38]

Les compléments alimentaires sont des sources concentrées de nutriments (comme des vitamines et des sels minéraux, des substances à but nutritionnel ou physiologique, ou des plantes et des préparations de plantes) qui sont destinées à compenser les carences en nutriments dans le régime alimentaire. [37]

IV.3. Composition des Compléments alimentaires :

Les catégories de substances pouvant se retrouver dans un complément alimentaire sont représentées sur la figure ci-dessous :



Figure IV.1. : Les ingrédients entrant dans la composition des compléments alimentaires.

IV.3.1. Les nutriments : vitamines et minéraux :

Les nutriments sont des composés qui peuvent être directement assimilés sans avoir à passer par le processus digestif pour perdre leurs nutriments, tels que les minéraux et les vitamines.[39] Les vitamines et minéraux sont des éléments indispensables à la construction de notre organisme et à son bon fonctionnement.[40]

a) Les vitamines

Même en petites quantités, dans leur grande majorité, les vitamines sont essentielles car elles ne peuvent être synthétisées par notre corps à seule exception de la vitamine D et la vitamine K. Elles doivent donc être apportées par l'alimentation ou par les CA en cas d'alimentation déséquilibrée : les vitamines B interviennent dans les fonctions métaboliques, la vitamine C contribue à réduire la fatigue et est indispensable aux défenses naturelles, ainsi que les vitamines liposolubles telles que la vitamine A pour la santé visuelle, la vitamine D pour la santé osseuse et la vitamine E aux propriétés antioxydantes.[40]

b) Les minéraux et les oligo-éléments

Tels que le Magnésium, calcium, chrome, fer, etc. les minéraux participent à la croissance des enfants, aux fonctions biologiques, à la régulation de notre métabolisme. Ils peuvent être consommés sous forme de CA pour une action ciblée ou en combinaison pour créer des synergies.[40]

IV.3.2. Les substances à but nutritionnel ou physiologique :

Les substances à but nutritionnel ou physiologique sont des substances chimiquement définies, possédant des propriétés nutritionnelles ou physiologiques, à l'exception des vitamines et minéraux et des substances possédant des propriétés exclusivement pharmacologiques. Il s'agit par exemple du lycopène, de la glucosamine ou du chitosane. [40]

IV.3.3. Plantes ou préparations de plantes :

Les plantes et leurs préparations figurent parmi les ingrédients les plus représentés dans les CA (tout particulièrement les plantes à usage traditionnel). Les végétaux sont utilisés soit de façon traditionnelle, par exemple sous forme de poudre, d'extraits secs ou d'extraits aqueux ; soit sous forme de substances isolées des plantes. [40]

IV.3.4. Autres ingrédients :

Il s'agit principalement d'ingrédients d'origine animale non purifiés : la gelée royale ou le cartilage de requin en sont un exemple. [40]

IV.3.5. Les additifs, les arômes et les auxiliaires technologiques dont l'emploi est autorisé en alimentation humaine :

Selon l'ANSES, les additifs, arômes et auxiliaires technologiques sont ajoutés en petites quantités aux aliments lors de leur fabrication ou dans le produit fini dans un but technologique : améliorer leur conservation, réduire les phénomènes d'oxydation, colorer les denrées, renforcer leur goût, etc. Il est à noter que l'exploitant peut être à l'origine d'un problème de sécurité car il ne sait pas toujours ce qui est autorisé pour la préparation des CA. [40]

IV.4. La différence entre les compléments alimentaires et les médicaments :

On peut considérer que la forme d'un complément alimentaire ressemble à celle d'un médicament, en particulier lorsqu'il est présenté sous forme de gélule ou de comprimé. Dans l'action, il est indéniable que la distinction entre les deux est évidente. Le médicament est pris afin de traiter directement les symptômes d'une maladie afin de favoriser la guérison. [41]

Un supplément nutritionnel, de son côté, est spécialement conçu pour apporter une contribution nutritionnelle à l'organisme. Il ne fait donc pas valoir aucun effet thérapeutique qui ait été testé et/ou étudié. Malgré cela, de plus en plus de personnes optent pour les suppléments alimentaires afin de combler une lacune, apaiser un stress, retrouver de l'énergie, renforcer leurs défenses immunitaires, améliorer la beauté de leur peau et de leurs cheveux, et ainsi de suite. [42]

MEDICAMENT	COMPLEMENT ALIMENTAIRE
Soigne une maladie, une pathologie	Entretient le bien-être, le mieux-être, la beauté
Personnes malades	Personnes en bonne santé voulant le rester
Prescription médicale	Choix de l'individu de mieux prendre en charge son hygiène de vie
Propriétés thérapeutiques	Propriétés nutritionnelles / physiologiques

Figure IV.2. : la différence entre un complément alimentaire et un médicament.

IV.5. Compléments Alimentaires à Base de Protéines en Gélules :

L'administration des principes actifs par voie orale est la plus courante et l'une des plus appréciées par les patients, en particulier lorsqu'un traitement prolongé est requis. [43]

La prise de compléments alimentaires en gélules à base de protéines est devenue de plus en plus répandue parmi les individus qui souhaitent améliorer leur alimentation et leurs conditions physiques. Ces compléments alimentaires proposent une solution pratique et efficace pour accroître l'apport en protéines dans l'alimentation quotidienne, en particulier pour ceux qui rencontrent des difficultés à satisfaire leurs besoins en protéines en se basant uniquement sur l'alimentation. [44]

IV.5.1. Les gélules :

Depuis les années 1840, la pharmacie utilise les gélules. Il s'agit d'unidoses qui permettent de générer une quantité spécifique de principe actif. Les formes sont utilisées pour masquer le goût ou l'odeur désagréable de certains éléments actifs. Les trouver en pharmacie est aisé et leur prix est abordable. En outre, la demande des patients est très élevée, en particulier pour les gélules de phytothérapie et de parfumerie. [45]

Les gélules se composent d'une substance dure préfabriquée, composée de deux parties cylindriques à fond hémisphérique. Elles se composent d'une tête, la coiffe, et d'un corps, le réservoir. Ces deux parties se complètent mutuellement. Les deux parties sont gonflées par un renflement, ce qui empêche l'ouverture de la gélule lorsqu'elle est pleine. La gamme de tailles proposée par les fabricants de gélules varie des triples zéro, les plus grandes, aux numéros cinq, les plus petites. [45]

Il s'agit d'une forme galénique utilisée dans la phytothérapie. La popularité des gélules contenant de la poudre de plantes ou des extraits secs de plantes augmente. [45]



Figure IV.3. : Structure des gélules.

IV.5.2. Les Avantages et les inconvénients des Compléments Alimentaires en Gélules :

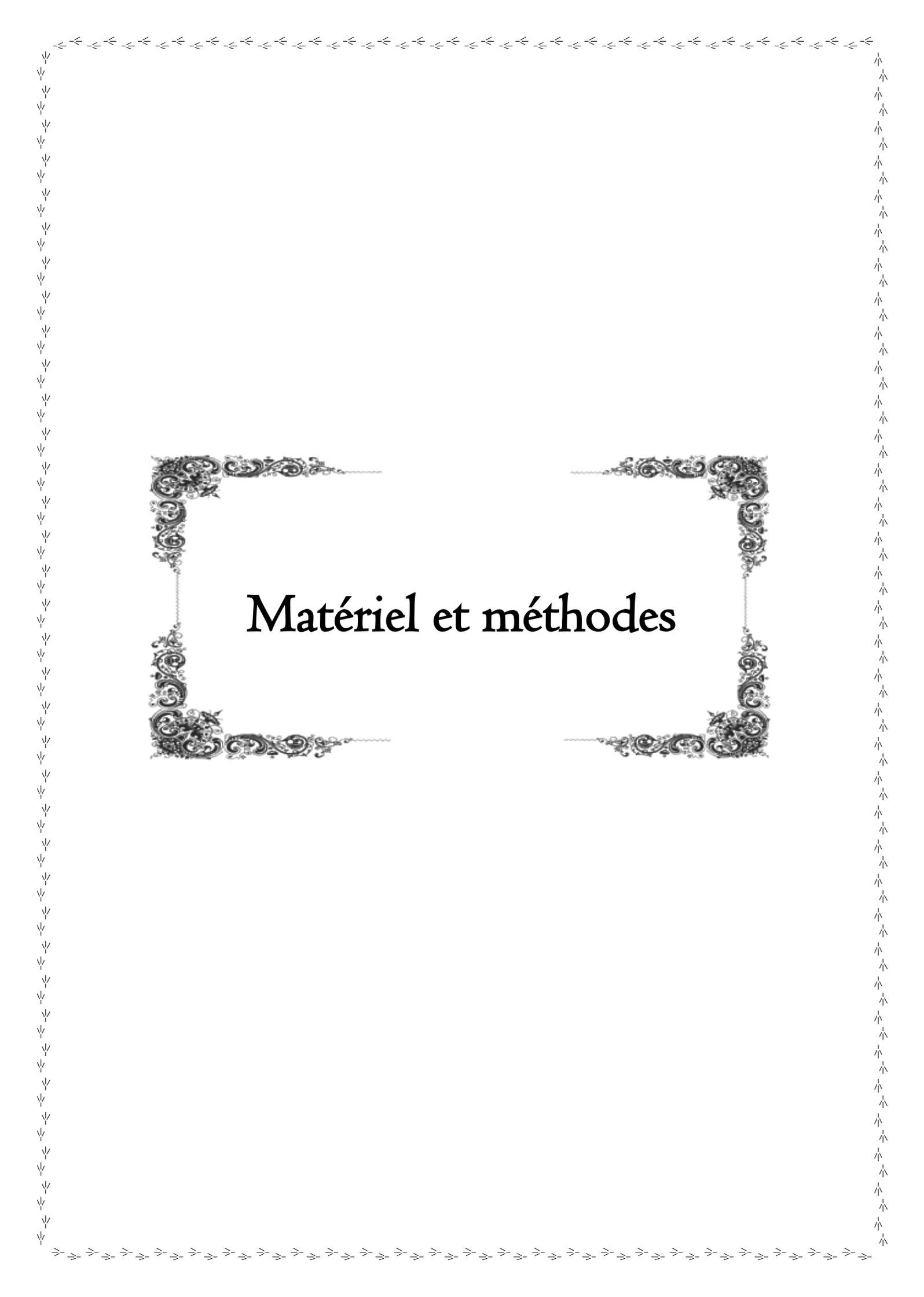
Le tableau suivant résume les avantages et les inconvénients des gélules :

Tableau IV.1. : les avantages et les inconvénients de la forme gélule. [46]

Les avantages	Les inconvénients
<ul style="list-style-type: none">-Permet l'utilisation de substances actives présentant une odeur ou une saveur désagréable.-Facile à déplacer.-Simple à mettre en place.-Protection contre l'air et la lumière.-Élaboration simple d'un placebo.-Acquisition de gélules à effet prolongé.-Éventualité d'enrobages alimentaires résistants.- Facilité de libération des substances actives dans le tube digestif.-À l'officine, il est facile de réaliser la forme gélule.-Il est possible d'incorporer des liquides en utilisant des enveloppes spéciales.	<ul style="list-style-type: none">-Ils ne peuvent pas être divisés.-Il arrive parfois que l'ouverture soit trop simple, ce qui a un impact sur le transport dans l'organisme ; il est également possible d'ouvrir une gélule et d'y ajouter un autre produit.-Les comprimés sont plus onéreux que les gélules.-Protection contre l'humidité.-Elles adhèrent plus facilement à la paroi de l'œsophage (entraînant une douleur sternale et parfois une perforation).-Il est nécessaire de les absorber en restant assis.-Moins bonne résistance aux manipulations que pour les comprimés.



Partie pratique



Matériel et méthodes

V. MATERIEL ET METHODES

Le présent travail a été réalisé au niveau du Laboratoire de Génie Chimique département Génie des Procédés, Université Saad Dahleb (Blida 1).

Notre objectif principal est la formulation d'un complément alimentaire sous forme de gélule à base des protéines de deux variétés d'avoine Algérienne. La méthodologie des plans d'expériences a été employée pour organiser la démarche expérimentale et l'analyse décisionnelle en utilisant des logiciels particuliers. Nous avons choisi le logiciel Mode 6.0 parmi ces logiciels.

Les matières premières, le matériel et les protocoles expérimentaux utilisés dans notre étude seront exposés dans ce chapitre, avec les différentes étapes suivantes :

- Caractérisation physico-chimique de la farine d'avoine des deux variétés.
- Extraction des protéines qui sera utilisé comme PA dans le complément alimentaire.
- Formulation des gélules par plan d'expériences.
- Caractérisation physico-chimique et organoleptique de la formulation.

V.1. Enquête ethnobotanique :

Préalablement, une enquête ethnobotanique a été réalisée afin de mettre en évidence la réputation de l'avoine entre différentes catégories de la population dans trois wilayas. Le questionnaire est représenté en Annexe N°1.

V.1.1. Objectif de l'enquête :

Nous avons réalisé une enquête ethnobotanique au début de notre étude expérimentale afin de démontrer l'importance des compléments alimentaires et l'avoine étudiée auprès de la population et d'évaluer les connaissances sur l'utilisation et la consommation des compléments alimentaires et de l'avoine.

V.1.2. Cadre et méthodologie de l'étude :

Notre enquête a été réalisée dans trois wilayas d'Algérie : Alger, Blida et Tipaza. Cette enquête a été conduite à l'aide d'un questionnaire destiné à la population locale de la zone d'étude. Les paramètres étudiés concernent essentiellement : le profil sociodémographique des enquêtés (sexe, âge, état, état intellectuel), les caractéristiques ethnobotaniques (domaines de santé concernés par la prise de compléments alimentaires, les composants présents dans les compléments alimentaires, avoine utilisée, formes d'utilisation), et ethnopharmacologiques (compatibilité des compléments alimentaires avec les médicaments, consommation, le budget etc...).

V.1.3. Analyse des données de l'enquête :

V.1.3.1. Part des participants selon la région et le sexe :

Les pourcentages des enquêtés dans les régions étudiées sont de 27,5 %, 40 % et 32,5 % pour Blida, Alger et Tipaza respectivement. L'enquête a été menée sur un total de 40 individus, dont 57,5 % sont des femmes et 42,5 % des hommes. La figure ci-dessous présente les répartitions des pourcentages en fonction de la région d'étude et du sexe des enquêtés.

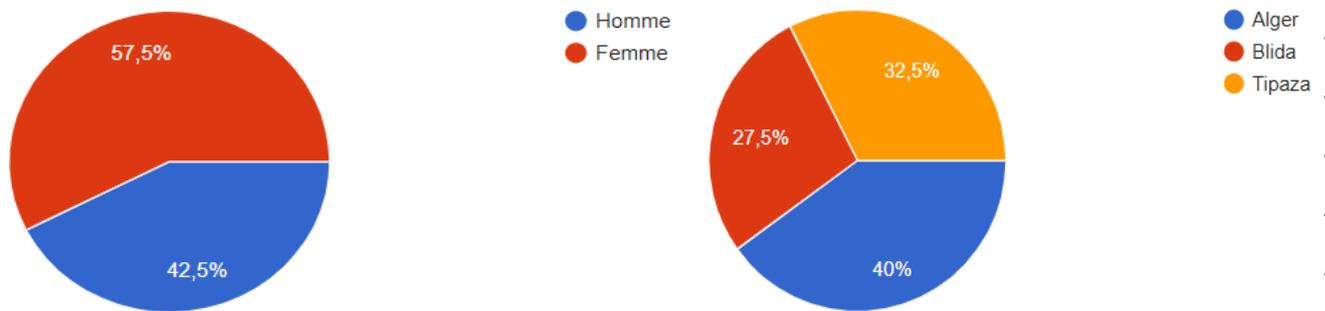


Figure V.1. : Répartitions des pourcentages en fonction de la région d'étude et du sexe des enquêtés.

V.1.3.2. Connaissance des compléments alimentaires et l'avoine :

Les diagrammes suivants illustrent le pourcentage d'âge des enquêtés selon leurs connaissances des compléments alimentaires et de l'avoine :

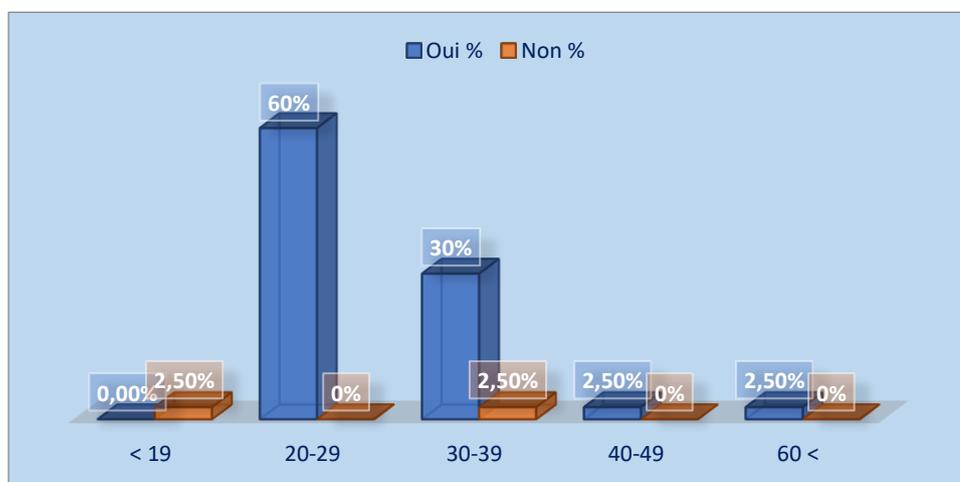


Figure V.2. Pourcentage d'âge des enquêtés selon leur connaissance des compléments alimentaires.

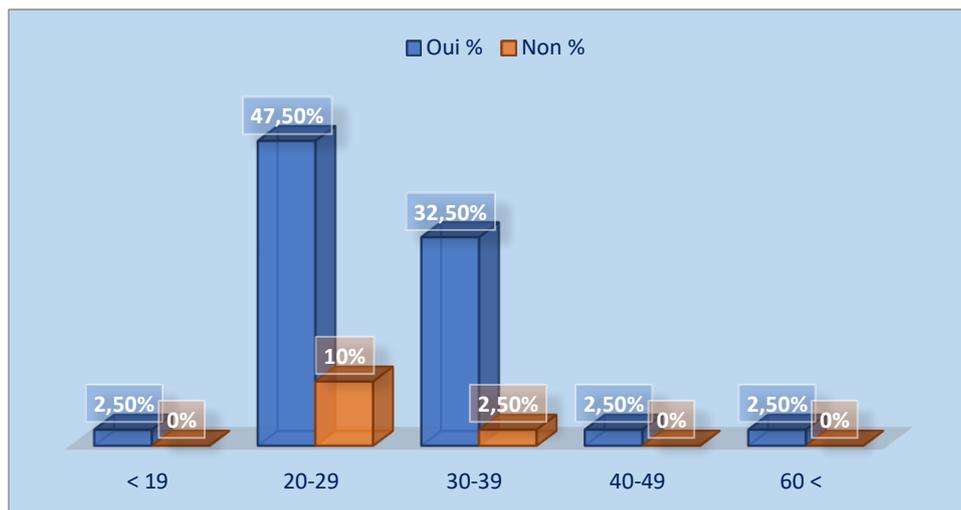


Figure V.3. Pourcentage d'âge des enquêtés selon leur connaissance de l'avoine.

La population étudiée a une bonne compréhension de l'avoine et des compléments alimentaires, selon les différentes tranches d'âge. La population ayant le plus de connaissances sur les compléments alimentaires et l'avoine est celle des personnes âgées de 20 à 29 ans respectivement (60 %) et (47,5 %), suivie dans l'ordre par celle âgée de 30 à 39 ans (30 %) et (32.5 %), et enfin celle de moins de 19 ans et d'entre 40 et 60 ans (2.5 %). Cependant, 5% des enquêtés ne connaissent pas les compléments alimentaires et seulement 15% ne connaissent pas l'avoine.

V.1.3.3. Utilisation des compléments alimentaires et l'avoine :

Les diagrammes suivants illustrent les pourcentages d'état des enquêtés selon leur utilisation des compléments alimentaires et de l'avoine :

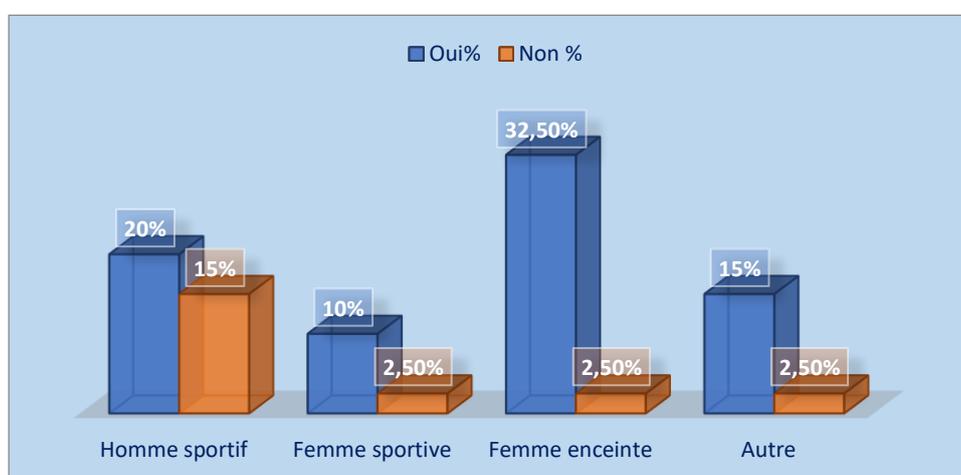


Figure V.4. Pourcentage d'état des enquêtés selon leur utilisation des compléments alimentaires.

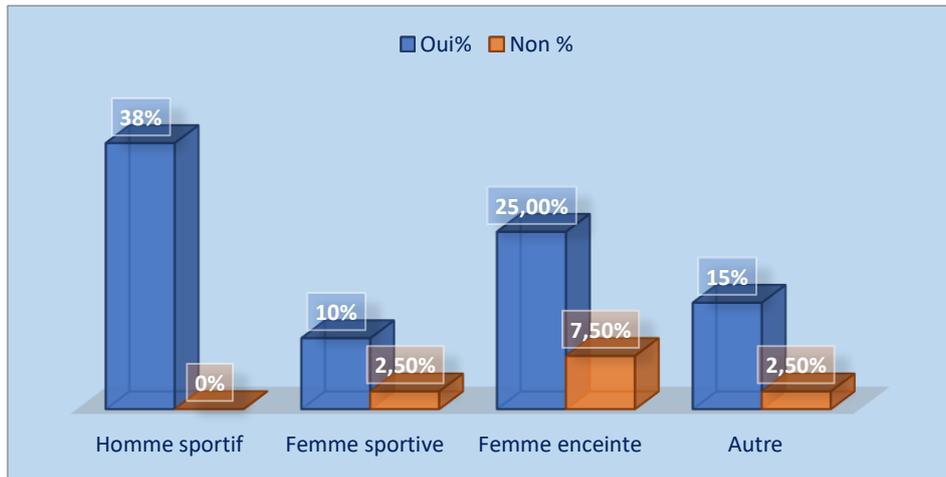


Figure V.5. Pourcentage d'état des enquêtés selon leur utilisation de l'avoine.

L'avoine et les compléments alimentaires sont utilisés de manière efficace par la population étudiée, quel que soit leurs états. La population qui connaît le plus les compléments alimentaires est composée de femmes enceintes (32.5%) et d'hommes et de femmes sportifs (48%). Suivis dans l'ordre, 25 % des femmes enceintes utilisent également de l'avoine pendant leur grossesse, tandis que 30% des femmes et des hommes sportifs utilisent des compléments alimentaires pendant leur activité sportive. De plus, 30% des autres enquêtés utilisent également des compléments alimentaires et de l'avoine, même s'ils ne sont ni sportifs ni femmes enceintes. Toutefois, 25 % d'entre eux ne consomment pas de compléments alimentaires et seulement 12,5% n'utilisent pas de l'avoine.

V.1.3.4. Selon la sensation suite à la prise des compléments alimentaires :

La figure ci-dessous montre la distribution des enquêtés selon la sensation suite à la prise des compléments alimentaires :

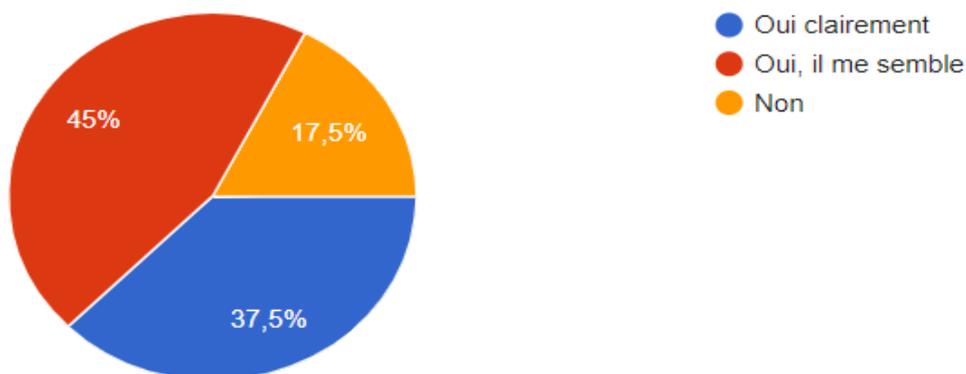


Figure V.6 : Distributions des enquêtés selon la sensation suite à la prise des compléments alimentaires.

Nous voyons que la majorité des enquêtés se sentent mieux (45%), voire beaucoup mieux (37.5 %) suite à la prise des compléments alimentaires, cela montre que ces derniers sont efficaces quelle que soit la raison de la prise.

Seulement 17.5% des gens ne se sentent pas mieux après la prise des compléments alimentaires, cela est peut-être dû à une allergie, à un malaise ou à une maladie qui nécessitent des analyses ou des médicaments pharmaceutiques.

V.1.3.5. Selon le souhait de trouver un complément alimentaire à base de protéine d'avoine :

Les résultats d'analyse des avis de la population étudiée de trouver un complément alimentaire à base d'avoine sont illustrés sur la figure ci-dessous :

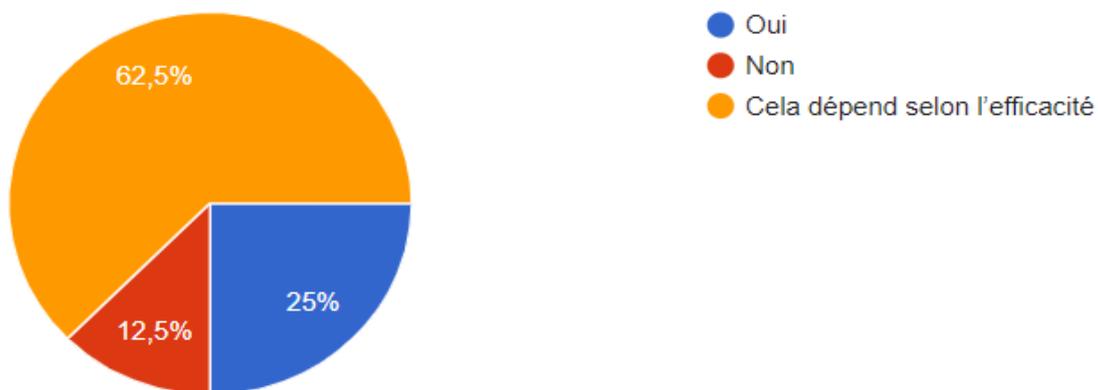


Figure V.7. Distributions des enquêtés selon le souhait de trouver un complément alimentaire à base d'avoine.

La figure montre que 62.5% des enquêtés demandent un complément alimentaire à base d'avoine si ce dernier est vraiment efficace, cela pourrait être dû au manque de compléments alimentaires à base d'une céréale.

Les autres 25% des gens espèrent trouver un complément alimentaire à base d'avoine, cela prouve que ces personnes connaissent très bien les bienfaits de l'avoine et le prennent souvent, c'est le cas des sportifs.

D'autres individus (12.5%) refusent de prendre un complément alimentaire à base d'avoine, ce qui s'explique probablement par la méconnaissance des usages et des propriétés de l'avoine.

V.2. Matériel :

V.2.1. Matériel végétal :

Dans cette étude, on a utilisé deux variétés d'avoine algérienne N et G comme matières premières. Ces dernières nous ont été fournies par L'Institut Technique des Grandes Cultures (ITGC) d'El Harrach. Ces deux espèces ont été sélectionnées en raison de l'importance de leurs propriétés nutritionnelles et leurs teneurs en protéines.

V.2.2. Appareillage :

Les équipements utilisés lors de nos expériences sont présentés sur le tableau ci-dessous :

Tableau V.1: L'appareillage utilisé lors du travail expérimental.

Equipements	Utilité
Broyeur (high-speed Multi-function Grinder RRH-500A)	Broyage des grains de l'avoine
Balance électronique (KERN ALS 220-4N)	Pesée des matières premières
Centrifugeuse	La séparation lors de l'extraction
pH mètre	Mesurer le pH
Spectrophotomètre infrarouge FTIR-8900 (SHIMADZU)	L'analyse qualitative du PA
UV-visible (Hitachi, U5100spectrophotomètre)	L'analyse qualitative et quantitative du PA
Dissolu test	Le test de dissolution des gélules

V.2.3. Matières premières de la formulation :

a) Principe actif :

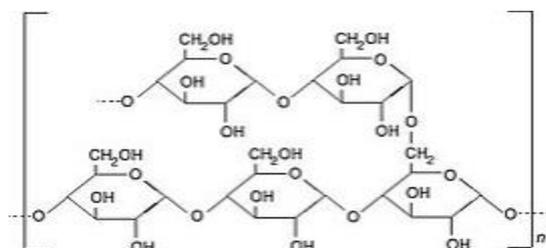
Des protéines extraites des grains des deux variétés d'avoine ont été utilisées comme principe actif fortifiant.

b) Excipients :

Des excipients ont été incorporés aux formulations afin d'améliorer leurs caractéristiques physicochimiques et organoleptiques. Ils consistent à :

❖ Amidon de maïs :

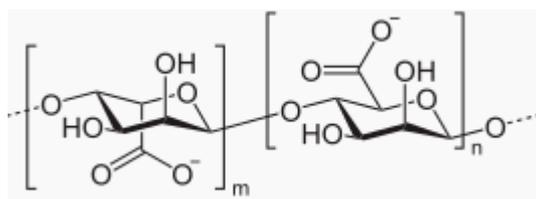
L'amidon est un glucide complexe qui constitue la principale réserve énergétique des végétaux. Il fait partie des sucres lents qui sont digérés plus lentement que les sucres rapides. Comme excipients, on les utilise sous forme de poudre pour diluer les principes actifs dans la fabrication des comprimés et des gélules et réguler la vitesse de dissolution des gélules et des comprimés. La formule chimique est :



❖ Alginate de sodium :

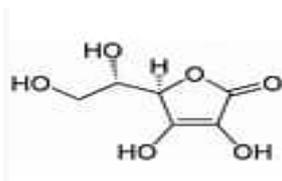
Les alginates offrent la possibilité de suspendre ou de dissoudre le principe actif, ce qui améliore sa biodisponibilité dans l'organisme

La structure chimique de l'alginate de sodium est représentée ci-dessous :



❖ L'acide ascorbique :

C'est un acide organique ayant des propriétés anti oxydantes, il est utilisé comme conservateur naturel dans le domaine pharmaceutique surtout le domaine des compléments alimentaires. Son faible pH aide à prévenir la croissance microbienne. Il est utilisé aussi pour améliorer la performance sportive, Amélioration des défenses immunitaires et dans la réduction de la fatigue chronique. La structure chimique est représentée ci-dessous :



V.3. Méthodes expérimentales :

V.3.1 Préparation de la farine de l'avoine :

Préalablement, les graines ont été soigneusement nettoyées afin d'enlever toutes les impuretés comme les corps étrangers et les semences dégradées.

Ensuite ces grains ont été broyés à l'aide d'un broyeur (High-speed Multi-function Grinder RRH-500A) jusqu'à l'obtention d'une farine.

Enfin, le tamisage de la farine obtenue des deux variétés d'avoine à l'aide d'un tamis afin d'obtenir une farine plus fine.



Figure V.8 : Le tamisage de la farine.

V.3.2 Caractérisation physico-chimique de l'avoine :

V.3.2.1 la détermination de la teneur en eau (Norme internationale ISO-712, 1979) :

La précision des résultats est influencée par la détermination de l'humidité, car elle permet de comparer les résultats à la matière sèche.

✓ **Principe :**

On évalue l'humidité après avoir séché le produit à une température allant de 130 à 133°C pendant 1h30 à pression atmosphérique.

Les résultats s'expriment en pourcentage selon l'équation :

$$\text{Teneur en eau \%} = \frac{m_0 - m_1}{m_0} * 100 \quad (\text{V.1})$$

Où

m_0 : masse de la prise d'essai (g).

m_1 : masse de la prise d'essai après étuvage (g).

$$\text{Matière sèche \%} = 100 - \text{teneur en eau \%} \quad (\text{V.2})$$

V.3.2.2 la détermination de la teneur en fibres :

La détermination de la teneur en fibres a été réalisée par la méthode de cellulose brute selon (Norme NFV O3 040, 1977). La méthode de WEENDE (1953) n'analyse pas la cellulose uniquement mais inclut également quelques impuretés d'où son nom : cellulose brute. En effet, cette méthode solubilise entre 30 et 100 % de la cellulose entre 14 et 20 % de pentosanes et entre 16 et 50% de la cellulose de la lignine en fonction du matériau végétal étudié.

✓ **Principe :**

Deux hydrolyses (30 minutes chacune) sont effectuées sur l'échantillon dans des milieux acides et alcalins. Une fois neutralisé le résidu insoluble est lavé et séché jusqu'à un poids constant à une température de 105°C. Le produit final est chauffé dans un four à moufle à une température de 600°C puis il est pesé. La différence entre les deux pesées représente la matière cellulosique brute.

✓ **Mode opératoire :**

L'échantillon est pesé à 1g dans un creuset en porcelaine, puis placé sur l'appareil de Weende. Dans chaque colonne, on verse 150 ml d'acide sulfurique concentré préchauffé, puis on ajoute 2 à 3 gouttes d'anti-mousse. Le chauffage est arrêté après 30 minutes d'ébullition. Chaque creuset doit être rapidement rincé avec de l'eau distillée très chaude et un peu de solution basique (KOH). La deuxième attaque basique est ensuite effectuée en versant 150 ml de solution préchauffée de KOH. Une seconde fois, le liquide est laissé passer sur un nouveau filtre ambiant. Il est également rincé cinq fois avec de l'eau distillée chaude et parfois avec de l'acétone jusqu'à ce que les matières grasses soient éliminées.

Les creusets sont placés dans l'étuve à une température de 105°C pendant une durée de 3 heures. Une fois refroidi, les pesées sont effectuées (P1). Enfin, les échantillons sont placés dans un four à une température de 600°C pendant 6 heures afin de brûler les matières cellulosiques. Après cela ; ils sont placés dans un dessiccateur avant de procéder à une seconde pesée (P2). On calcule la quantité de cellulose brute (% CB) de la manière suivante :

$$CB \% = (P1 - P2) \times 100 \quad (V.3)$$

V.3.2.3 la détermination de la teneur en matières grasses (Norme NFV03-713, 1980) :

✓ **Principe :**

L'extrait des lipides libres se fait en utilisant un solvant organique apolaire comme l'éther de pétrole pendant 6 à 8 heures dans un soxhlet. On distille le solvant présent dans le ballon préalablement taré en utilisant un évaporateur rotatif sous pression vide. La différence du poids du ballon constitue la matière grasse.

La teneur en matières grasses totales, exprimée en masse du produit est égale à :

$$S = m_2 - m_1 / m_0 * 100 \quad (V.4)$$

Où

m_0 : masse de la prise d'essai (g).

m_1 : masse du ballon vide (g).

m_2 : masse du ballon et du résidu (g)

V.3.2.4 Détermination de la teneur en protéines :

On évalue l'azote total en utilisant la méthode KJELDAHL qui est utilisée pour les céréales et qui est standardisée en Algérie selon la référence NA1185/1990. Elle permet d'évaluer la quantité de protéines en utilisant le facteur de conversion approprié (6.25 pour les protéines) d'origine naturelle. Elle comporte quatre étapes :

- La transformation de l'azote organique présent dans la prise d'essai en sulfate d'ammonium sous l'action de l'acide sulfurique concentré, à chaud, en présence d'un échantillon.
- Utilisation d'un catalyseur adéquat.
- Intégration d'une quantité adéquate d'hydroxyde de sodium dans les produits de la réaction.
- Distillation de l'ammoniac libéré et titrage.
- Conversion du résultat en le multipliant par le facteur 6.25.

La teneur en protéines rapportée à la matière sèche se calcule comme suit :

$$\text{Protéines \%} = \frac{0.0014 * V * 100}{n} * \frac{100}{100 - H} * 5.75$$

(V.5)

Où

n : poids de la prise d'essai en grammes.

V : quantité d'acide sulfurique injectée lors du titrage (ml).

H : Le taux d'humidité du produit (%).

V.3.2.5 Détermination de la teneur en cendres :

Cette analyse est réalisée afin de mesurer le niveau de pureté réglementaire des farines. Il est recommandé l'utilisation de la méthode d'incinération à 900°C pour les céréales et leurs produits de mouture destinés à l'alimentation humaine.

✓ **Principe :**

Le processus consiste à incinérer le produit à une température de 900°C (céréales et produits de mouture) pendant une durée de 1h15 à 2 heures jusqu'à ce que la matière organique soit complètement brûlée. On évalue la quantité de cendres en pesant le résidu obtenu et les résultats sont rapportés à la matière sèche.

Teneur en cendres (%) :

$$C (\%) = \frac{m_1}{m_0} * 100 * \frac{100}{100-H} \quad (\text{V.6})$$

Où

m_0 : masse de la prise d'essai (g).

m_1 : masse du résidu (g).

H : teneur en eau du produit (%).

V.3.3 Extraction des protéines d'avoine :

La méthode décrite par (Alexander Prosekov et al) [47] a été utilisée pour extraire les protéines présentes dans les deux variétés d'avoine avec quelques ajustements.

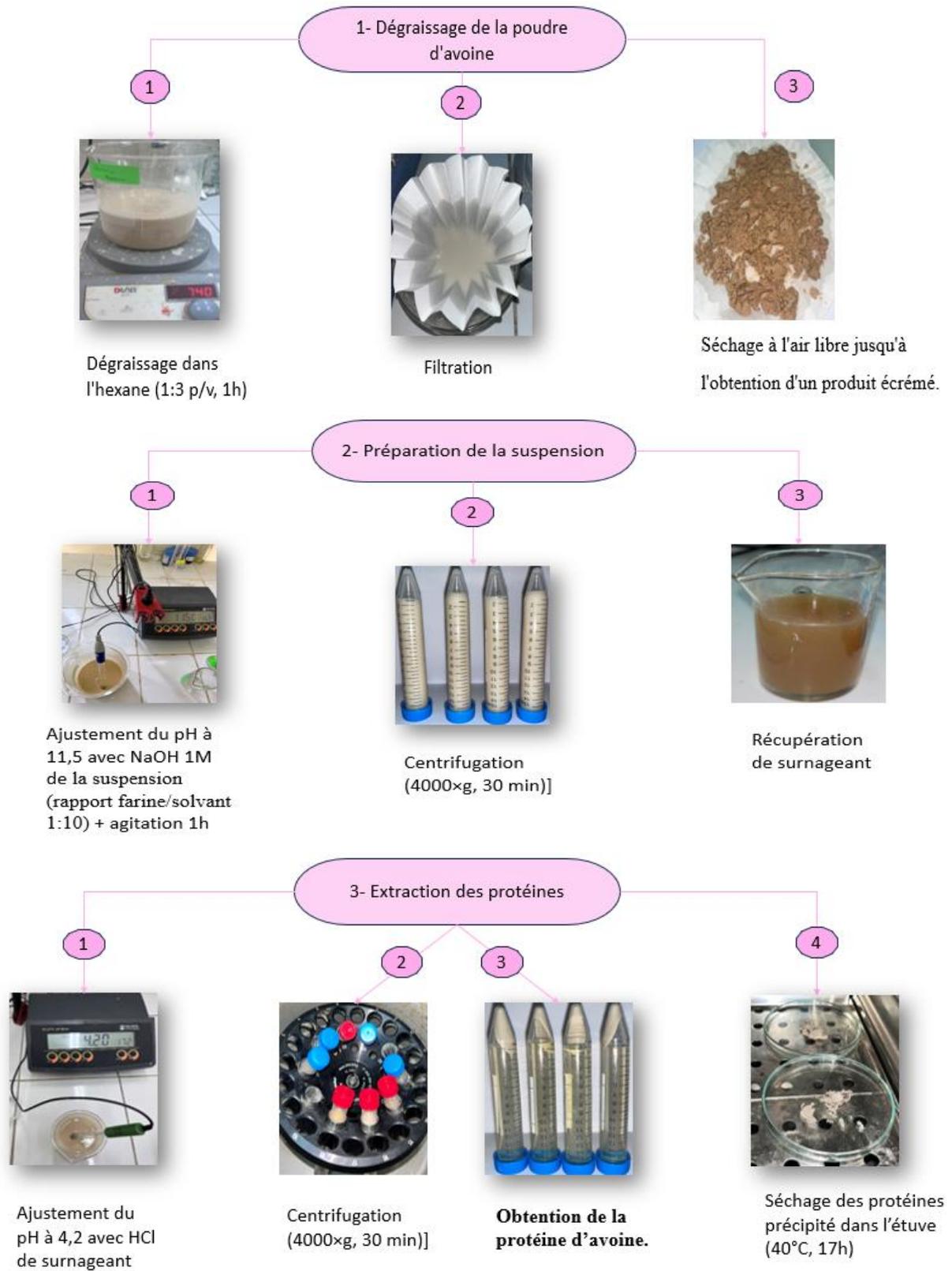
• **Rendement de l'extraction :**

Le rendement est la quantité des protéines fournit par une masse donnée de l'avoine selon un protocole bien déterminé. Selon AFNOR (1986), le rendement de l'extraction est défini comme le rapport entre la quantité d'extrait obtenue et la quantité de matériel végétal traité.

On exprime le rendement en pourcentage :

$$R (\%) = (m (\text{extrait}) / m_s) * 100 \quad (\text{V.7})$$

Le schéma ci-dessous illustre les différentes étapes d'extraction



- **La valeur énergétique :**

La valeur énergétique des protéines est définie par le nombre de calories qu'elles fournissent au corps. Chaque gramme de protéine fournit 4Kcal. [48]

V.3.4 Identification et caractérisation des protéines d'avoine :

V.3.4.1 Solubilité des protéines d'avoine :

Afin de choisir le meilleur solvant pour les protéines d'avoine, une étude de solubilité a été conduite, dans une variété de solvants : l'eau, éthanol, solution saline et alcaline. Pour se faire, 60 mg de la poudre a été dissoute dans 25 ml de chaque solvant.

V.3.4.2 Identification par spectroscopie infrarouge à transformée de Fourier (FTIR) :

✓ Principe :

L'étude de la spectroscopie infrarouge à transformée de Fourier FTIR repose sur l'absorption d'un rayonnement infrarouge par le matériau examiné. Elle offre une solution en détectant les vibrations enregistrées. L'analyse des fonctions chimiques présentes dans le matériau permet d'identifier les caractéristiques des liaisons chimiques. [49]

✓ Mode opératoire :

Dans un mortier d'Agathe, Réduire en poudre 3mg d'un échantillon avec 20mg de KBr. Ensuite, mettre le mélange dans le moule pour obtenir une pastille translucide. Puis, mettre le moule dans la presse à pastille et presser l'échantillon. Enfin, démouler la pastille de KBr avec l'échantillon placer la pastille dans le support et analyser dans l'appareil IR. (Voir la photo de l'appareillage dans l'annexe). [50]

V.3.4.3 Identification par La spectroscopie UV-Visible :

✓ Principe :

La spectroscopie UV-visible, ou spectrométrie UV-visible, utilise des photons dont les longueurs d'onde vont de 200 nm à 1400 nm (ultraviolet, visible, proche infrarouge). En exposant des molécules, ions ou complexes à ce rayonnement, ils peuvent subir des transitions électroniques. Les substrats sont généralement en solution, mais peuvent aussi être en phase gazeuse ou solide. L'intensité lumineuse absorbée par l'échantillon dépend de la longueur d'onde. [51]

✓ **Mode opératoire :**

- **Préparation de la solution mère :**

Dissoudre 60 mg de protéine dans une fiole de 25 ml avec une solution alcaline jusqu'au trait de jauge.

- **Dilution de la solution mère :**

Ajouter 1 ml de la solution mère à 10 ml d'eau distillée dans une fiole de 25 ml, compléter jusqu'au trait de jauge, puis passer la solution sous une lampe UV. **Voire la photo d'UV appareil dans l'annexe.**

V.3.4.4 Détermination de la teneur en eau des protéines :

✓ **Principe :**

Le niveau d'humidité des protéines est calculé ainsi : peser 0,5 g de protéines d'avoine, les sécher à 130°C pendant 1h30, puis les peser à nouveau pour déterminer la teneur en eau. [52]

La formule suivante permet de calculer le pourcentage d'humidité :

$$\text{Teneur en eau \%} = \frac{m_0 - m_1}{m_0} * 100 \quad (\text{V.8})$$

V.3.4.5 Détermination de la teneur en cendres des protéines :

✓ **Principe :**

La poudre de protéines est calcinée à 550°C dans un four à moufle jusqu'à obtention d'une cendre blanchâtre de poids constant.

✓ **Mode opératoire :**

1. Peser 0,5 g de protéines d'avoine broyée dans une capsule en porcelaine.
2. Placer les capsules dans un four à moufle à 550°C pendant 5 heures jusqu'à obtention d'une cendre grise, claire ou blanchâtre.
3. Retirer les capsules, les laisser refroidir dans un dessiccateur, puis les peser.

Le calcul de la teneur en cendre :

$$\text{MO\%} = \frac{m_1}{m_0} * 100 * \frac{100}{100 - H} \quad (\text{V.9})$$

V.3.4.6 Détermination du taux de protéines :

✓ Principe :

L'azote total est dosé par minéralisation avec de l'acide sulfurique concentré. L'ammoniaque produite est déplacée dans une solution concentrée d'hydroxyde de sodium, recueillie dans une solution tampon d'acide borique et titrée.

✓ Mode opératoire :

A - Minéralisation :

Mettre 0,5 g de protéine avec un catalyseur dans un matras. Chauffer doucement, puis fortement dans l'appareil KJELDAHL jusqu'à obtention d'une solution limpide. Laisser refroidir.

B - Dosage :

Placer les matras dans l'appareil de distillation de l'azote, ajouter de l'eau distillée et 50 ml de lessive de soude. Activer le générateur de vapeur pour distiller l'ammoniac dans un erlenmeyer avec 2 gouttes d'indicateur coloré.

C - Titrage :

Titrer la solution obtenue avec de l'acide chlorhydrique 0.1N jusqu'au virage. [53]

Le taux de protéines est calculé selon la formule suivante :

$$\text{Protéines \%} = \frac{0.0014 * V * 100}{n} * \frac{100}{100 - H} * 5.75 \quad (\text{V.10})$$

La caractérisation des protéines extraites a été réalisée comme décrit précédemment pour les farines d'avoine

V.3.4.7 Evaluation de l'activité antioxydante :

✓ Principe :

La complexité des méthodes antioxydantes in vitro rend leur comparaison difficile. Cependant, elles mesurent l'efficacité des composés antioxydants. L'évaluation se divise en deux mécanismes : le transfert de radicaux libres (atome d'hydrogène, électrons simples ou les deux) et l'effet sur les marqueurs biologiques, basé sur la peroxydation des lipides. [54]

✓ **Mode opératoire :**

On ajoute un ml de la solution éthanolique de DPPH (0,04 mM) à un ml de solution d'extrait. Le tube est agité vigoureusement avant d'être incubé à température ambiante et dans l'obscurité pendant une durée de 30 minutes. Les lectures ont été réalisées à une distance de 220 nm. Les conditions de préparation de l'échantillon, du témoin et de l'acide ascorbique (référence) sont identiques. [55]

En utilisant l'équation suivante, on peut estimer le pourcentage d'inhibition de chaque

$$PI\% = \frac{ABS_c - ABS_e}{ABS_c * 100} \quad (V.11)$$

Où :

ABS_c : Absorbance du contrôle après 30 min d'incubation.

ABS_e : Absorbance de l'échantillon après 30 min d'incubation.

V.3.4.8 Evaluation de l'activité antibactérienne :

La méthode la plus couramment employée pour tester l'activité antimicrobienne consiste à ensemercer une suspension bactérienne sur un milieu Mueller Hinton (MH) et un milieu Sabouraud dans des boîtes de Pétri. Dans cette étude, nous avons examiné cinq bactéries pathogènes Gram-positives et Gram-négatives, ainsi que deux champignons.

Pour évaluer l'effet antimicrobien sur les microorganismes, nous avons observé la présence ou l'absence de zones d'inhibition autour des échantillons appliqués sur les milieux de culture. La qualité de l'étude a été déterminée en mesurant le diamètre de ces zones d'inhibition. Une zone d'inhibition est une région où la croissance des microorganismes est empêchée, indiquant l'efficacité de l'agent antimicrobien testé. Un diamètre de zone plus large correspond à une activité antimicrobienne plus forte.

V.4. Formulation des gélules :

V.4.1. Utilisation de plan d'expérience :

Le plan d'expériences est l'outil mathématique employé pour calculer le nombre d'essais nécessaires pour la conception d'une gélule diététique. Grâce à cette approche, il est possible de mieux planifier les essais de formulation afin d'obtenir le maximum d'informations pour limiter les expériences, tout en offrant à l'expérimentateur une plus grande sécurité et précision quant aux résultats attendus.

Son but est d'améliorer les différents niveaux des facteurs étudiés qui peuvent avoir un impact sur les caractéristiques de notre gélule. La création de la matrice d'expériences et l'analyse statistique des résultats ont été réalisées en utilisant le logiciel Modde.6.

V.4.2. Choix du plan d'expériences :

Le but est d'améliorer les propriétés du système étudié, telles que la dissolution et l'homogénéité de masse. Nous avons opté pour un plan de surface composite car il offre la possibilité d'analyser les facteurs extérieurs et intérieurs qui ont une influence significative sur la formulation. L'utilisation de ce plan permet d'améliorer la précision de la modélisation des résultats, d'étudier le mode d'action des facteurs sur les réponses, et de prédire et d'optimiser les réponses.

V.4.3. Choix des facteurs :

Plusieurs éléments influencent la qualité de notre gélule, tels que les ingrédients qui la composent. Parmi l'amidon et l'alginate de sodium ont un impact significatif sur la dissolution et l'homogénéité de masse. La concentration de l'amidon est un diluant est l'un des éléments clés qui permet à la gélule d'obtenir la masse homogène nécessaire. L'alginate de sodium est le deuxième élément ; il s'agit d'un solubilisant qui permet de suspendre ou de dissoudre le principe actif, qui est responsable sur la dissolution de la gélule. Les autres éléments de la gélule ont été établis, tels que les protéines et l'acide ascorbique en tant que conservateur.

Les niveaux des facteurs étudiés sont répertoriés dans le tableau ci-dessous en valeurs codées (-1), (+1), l'effet d'un facteur est défini comme la variation d'une réponse lorsque ce facteur passe de son niveau inférieur (-1) à son niveau supérieur (1).

Tableau V.2 : tableau des facteurs avec leurs niveaux.

Facteurs (X_1 ; X_2)	Minimal	Maximal
Amidon de maïs	-1	+1
Alginate de sodium	-1	+1

V.4.4. Choix des réponses :

La qualité de la gélule se manifeste par une masse régulière et une biodisponibilité accrue du PA. C'est la raison pour laquelle. Dans notre situation, nous avons seulement deux réponses à examiner : la dissolution et l'homogénéité de la masse.

V.4.5. Construction du plan composite :

La RSM est un ensemble de techniques mathématiques et statistiques visant à ajuster des modèles empiriques aux données expérimentales d'un plan d'expérience. Des fonctions polynomiales linéaires ou carrées sont utilisées pour modéliser et optimiser les conditions expérimentales. [56]

Dans notre étude, avec deux facteurs (amidon et alginate de sodium), le nombre d'essais comprend les essais du plan factoriel (NF), trois points centraux (N0) pour évaluer la reproductibilité, et deux points "axiaux" par facteur (Na), avec $\alpha = 1$.

Le nombre total d'essais à réaliser est :

$$NF + N0 + Na = 2k + 3 + 2*k = 11 \quad (\text{V.12})$$

L'équation qui donne la réponse étudiée en fonction des facteurs expérimentaux est une équation de second ordre de la forme :

$$Y = a_0 + a_1 x_1 + a_2 x_2 + a_{11} x_1^2 + a_{22} x_2^2 + a_{12} x_1 x_2 \quad (\text{V.13})$$

x_1, x_2 : les niveaux des facteurs 1, 2.

a_{ij} : sont les coefficients du modèle. Avec $i = 0, 1, 2$ et $j = 1, 2$

Le Tableau V.6 présente la matrice d'expériences qui correspond aux valeurs codées des facteurs qui influencent la formulation de la gélule.

Tableau V.3 : Matrice d'expériences en valeurs codées.

N° d'expérience	Alginate de sodium	Amidon de maïs
1	-1	-1
2	1	-1
3	-1	1
4	1	1
5	-1	0
6	1	0
7	0	-1
8	0	1
9	0	0
10	0	0
11	0	0

V.4.6 Préparation des gélules :

Elle se déroule en trois étapes :

Etape 01 : Peser les excipients -alginate de sodium et l'amidon de maïs- avec les proportions exactes, puis ajouter l'acide ascorbique comme conservateur.

Etape 02 : Mélanger les excipients avec le principe actif -protéine d'avoine- en broyant très bien le mélange de ces poudres à l'aide d'un mortier.

Etape 03 : Placer les gélules dans le gélulier et déposer le mélange des poudres sur la plaque en étalant la poudre pour remplir toutes les gélules.

Etape 04 : Après remplir les gélules, on obtient des gélules diététiques à base protéine de l'avoine

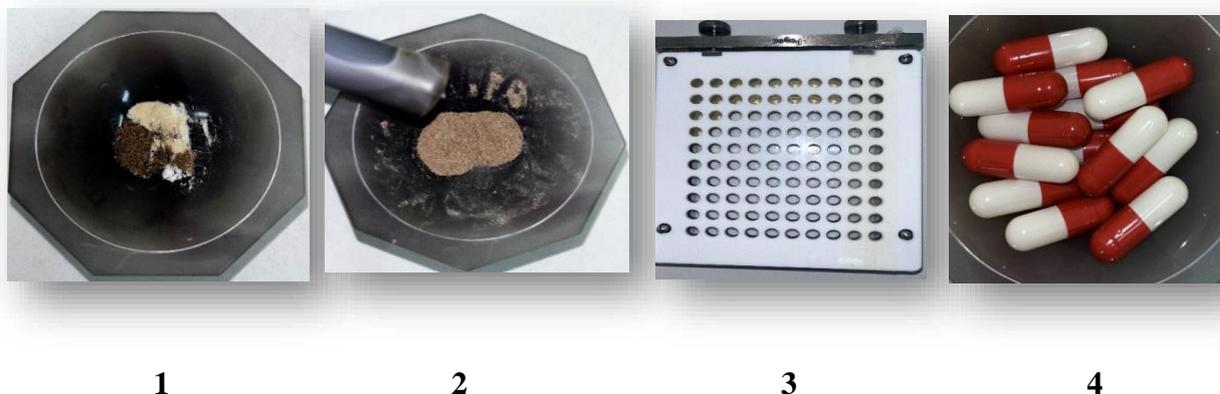


Figure V.9 : Les étapes de la formulation des gélules diététique à base des protéines d'avoine.

V.5. Caractérisation physico-chimique des gélules :

V.5.1. Caractéristiques organoleptiques de la poudre :

L'aspect et la couleur de la poudre ont été estimés par voie sensorielle.

V.5.2. Homogénéité de la masse :

Le test d'uniformité de masse des gélules est essentiel pour garantir une administration homogène au cours du temps. Les gélules ne sont pas toutes de même forme et le même contenu pratiquement.

• **Mode opératoire : (selon la Pharmacopée Européenne (Ph. Eur.et FTM) :**

- 1- Calculer la masse théorique du contenu d'une gélule (M_t) à partir de la masse totale de poudre (M_p) à répartir.
- 2- Peser 10 gélules séparément (M_{g1}, \dots, M_{g10}) et calculer la masse moyenne (M_m) avec une balance électronique.
- 3- Calculer la masse moyenne d'une gélule vide (M_v) à partir de la masse de 10 gélules vides (M_{v10}).
- 4- Calculer la masse moyenne du contenu (M_c) d'une gélule.

• **Limites d'acceptation :**

La masse d'aucune gélule ne peut dépasser les limites définies :

- Limite inférieure = $[(M_t * 0,9) + M_v]$
- Limite supérieure = $[(M_t * 0,1) + M_v]$

V.5.3. Test de dissolution :

Le test pharmaco technique de dissolution vise à évaluer la capacité des formes galéniques à laisser passer en solution, dans un environnement spécifique, le ou les principes actifs qu'elles renferment. Le dosage du principe actif dans des échantillons prélevés du milieu de dissolution à différents intervalles de temps permet d'évaluer le passage en solution.

[57]

Le test de dissolution a été réalisé dans 500ml de milieu acide pH= 1.2, maintenu à 37°C, avec une vitesse d'agitation de 100 tours par minute. Les 11 gélules des différentes formulations ont été versés dans chaque récipient (back). Une solution d'échantillon de 5,0 ml a été retirée à des intervalles de temps déterminés (5, 5, 5, 10, 20, 30, 60, 60 et 60min). Un volume égal de milieu de dissolution a été immédiatement remplacé. La concentration de protéine a été analysée par spectrophotométrie à 220 nm puis l'ensemble des valeurs obtenues dans cet essai conduit à l'établissement d'une courbe de dissolution en portant en ordonnées les pourcentages dissous et en abscisse le temps.

Le dispositif utilisé pour le test de dissolution est représenté dans la figure ci-dessous :

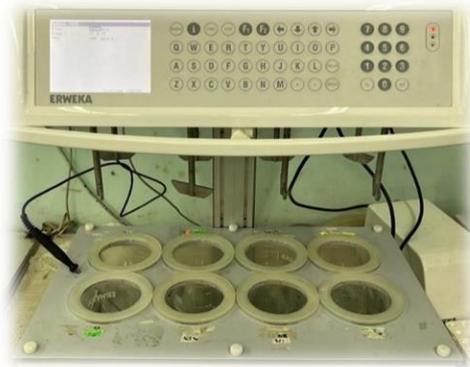
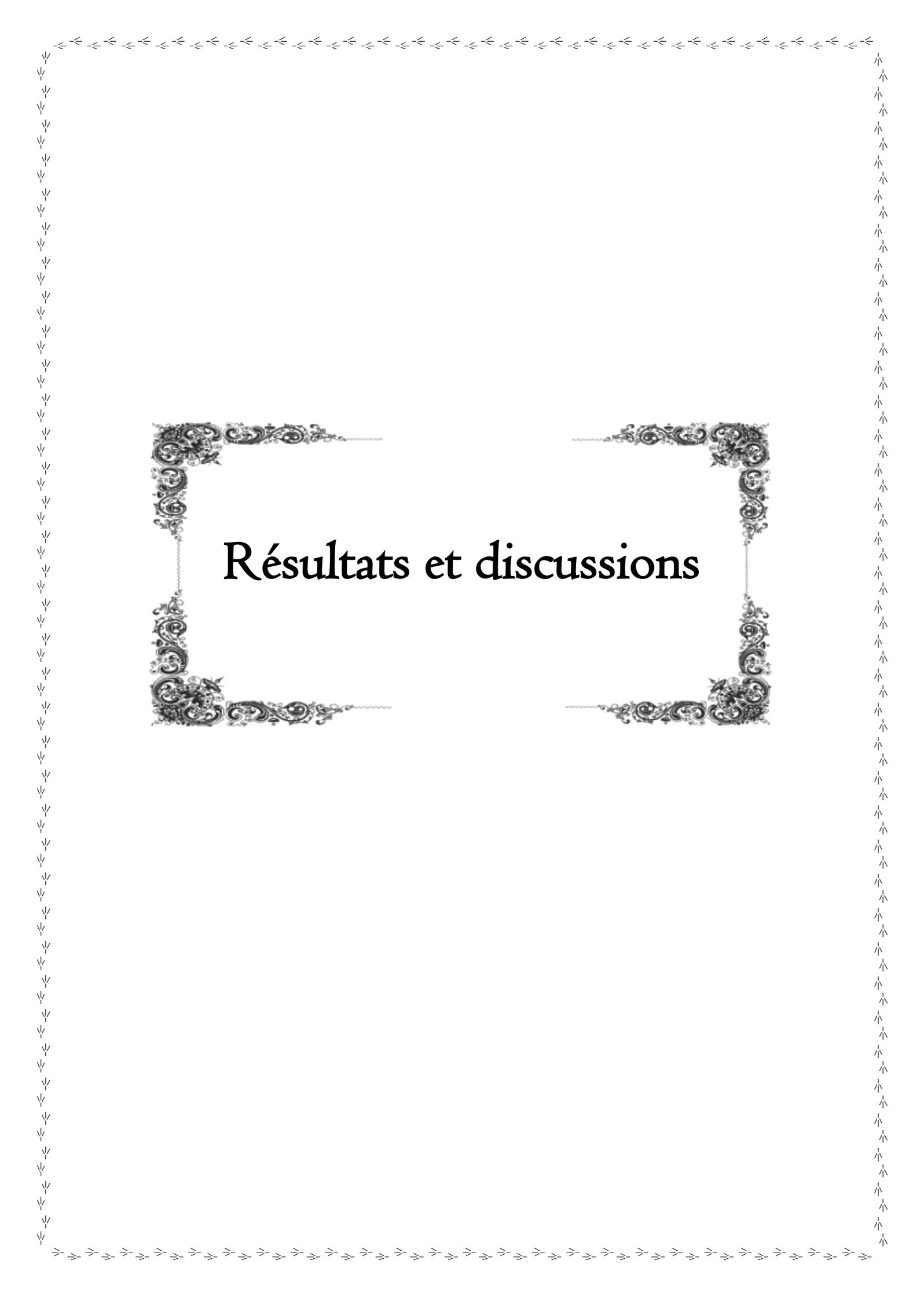


Figure V.10. : Dissolu-test.

V.5.4. L'étude de la stabilité microbiologique des gélules :

La méthode utilisée est le dénombrement des germes aérobies totaux (DGAT) et des moisissures et levures totales (DMLT) par ensemencement en profondeur. Le milieu Mueller Hinton et le milieu Sabouraud dextrosé sont fondus au bain-marie à 100°C. Une solution du contenu d'une gélule (0,5g, avec et sans conservateur) est préparée dans 25 ml d'eau physiologique. Ensuite, 15 à 20 ml de chaque milieu sont coulés dans des boîtes de Pétri, avec une boîte témoin pour chaque type de gélule. Un écouvillon stérile est immergé dans les solutions préparées et utilisé pour ensemercer les milieux. Les boîtes pour DGAT sont incubées à 37°C pendant 24 heures, et celles pour DMLT à 25°C pendant 3 jours.



Résultats et discussions

VI. RESULTATS ET DISCUSSIONS

Ce chapitre rassemble les résultats obtenus lors de cette étude avec une discussion et des interprétations.

VI.1. Caractéristiques physico-chimiques des deux variétés de l'avoine :

Le tableau VI.1 et la Figure VI.1 présentent les résultats des analyses physico-chimiques de la farine d'avoine des variétés G et N, exprimés par rapport à la matière sèche.

Tableau VI.1 : Résultats des analyses physico-chimiques de la farine d'avoine

Composants en% / MS	Teneur en eau	Matière sèche	Teneur en cendres (matières minérales)	Protéines	Matières grasses	Fibres
G	10,28	89,72	3,20	9,41	5,69	10,78
N	10,21	89,79	3,46	8,49	5,57	15,94

La figure ci-dessous regroupe la composition physico-chimique de variété.

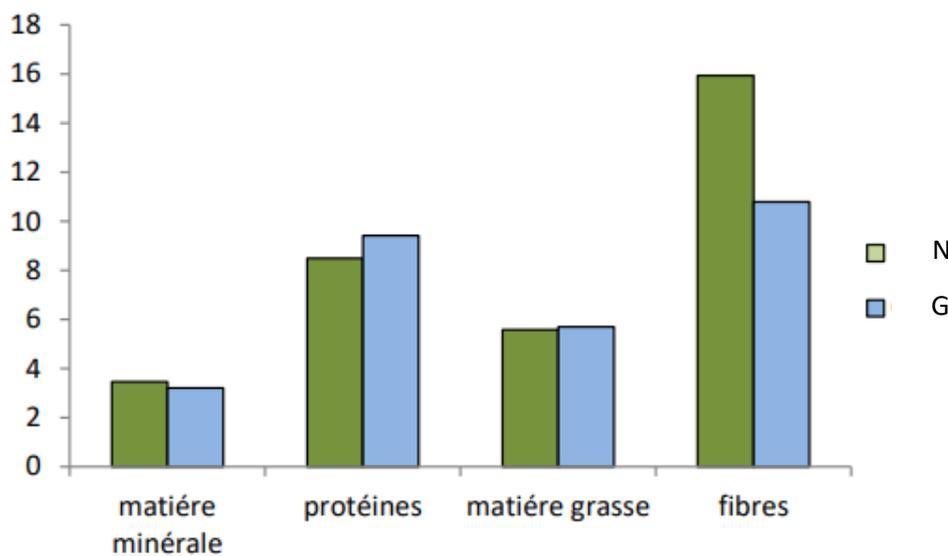


Figure VI.1 : Résultats des analyses physico-chimiques des deux variétés de l'avoine.

VI.1.1 Teneur en eau :

Par la mesure du taux d'humidité, il est possible de déterminer les risques d'altération lors de la préparation et du stockage des aliments.

Le taux d'humidité de l'avoine sur laquelle nous avons travaillé est pratiquement identique, avec 10,28% (89.72% MS) pour la variété G et 10,21% (89.79% MS) pour la variété N (tableau VI.1). Cela signifie que nos échantillons ont une teneur en eau adéquate qui leur permet de rester en bon état sans risques d'altérations.

VI.1.2. Matière minérale (teneur en cendres) :

Le tableau VI.1 montre que la quantité de matière minérale de la variété N (3,46%) n'est pas significativement plus élevée que celle de la variété G (3,2%). Les différentes parties du grain ont un taux de cendres différent, mais il est plus élevé dans le germe.[58] Le type de sol, les conditions de culture, les engrais utilisés et la variété déterminent cela.[59] Il convient de noter que les cendres totales ne couvrent pas strictement la masse pondérale des sels minéraux présents dans les produits céréaliers, car un grand nombre de ces sels minéraux sont détruits, modifiés ou se volatilisent à la température d'incinération (900°C). C'est pourquoi il est possible d'estimer des niveaux de minéraux beaucoup plus élevés par rapport aux valeurs observées.[60]

VI.1.3. Teneur en protéines :

La teneur en protéines dans la farine d'avoine des deux variétés a été déterminée et a été estimée à 9.41% dans la variété G et 8.49% dans la variété N (tableau VI.1). La quantité de protéines varie en fonction des conditions agro-climatiques de développement de la plante, telles que l'apport d'eau (sécheresse, irrigation), la fertilisation azotée et les variétés cultivées.

VI.1.4. Teneur en matière grasse :

La mesure de la matière grasse vise à évaluer la proportion des lipides totaux présents dans l'avoine analysée et ses conditions de conservation. Dans notre situation, on observe des taux de lipides de 5,57 % et 5,69 % dans la farine d'avoine des variétés N et G respectivement.

VI.1.5. Teneur en cellulose brute :

Selon les résultats, la quantité de cellulose brute de la variété N est de 15,94%, ce qui est nettement supérieur à 10,78% pour la variété G (tableau VI.1). Ces valeurs sont plus faibles que celles obtenues par d'autres chercheurs. [61] Les céréales, en particulier le son d'avoine, contiennent une fraction indigestible ou cellulose brute qui contribue à diminuer certaines affections digestives (constipation, diverticulose) et certains troubles métaboliques tels que le diabète et l'obésité. [62 ; 63]

VI.2. Rendement d'extraction :

Les protéines extraites des deux variétés d'avoine G et N sont représentés sur la figure VI.2.



Figure VI.2 : Extrait de protéines des deux variétés d'avoine.

D'après les résultats obtenus, il apparaît clairement que le rendement d'extraction des protéines est élevé par rapport à la farine de variété G et variété N avec 7,92% et 8,51% respectivement. Les deux variétés d'avoine étudiées présentent une forte teneur en protéines, ce qui peut être expliqué par la performance du protocole d'extraction suivi. On peut aussi constater que le rendement d'extraction de la variété N est supérieur à celui de la variété G, ce qui est conforme à la teneur initiale des protéines dans les grains.

- **La valeur énergétique :**

Les résultats obtenus montrent une différence notable dans la valeur énergétique entre les deux variétés d'avoine Algérienne étudiées. La variété G présente une valeur énergétique de 298,78Kcal qui est supérieure à celle de la variété N qui est de 251,28Kcal. Cette distinction offre des perspectives intéressantes pour l'application de chaque variété en fonction des besoins énergétiques spécifiques des consommateurs.

VI.3. Identification et caractérisation des protéines extraites :

VI.3.1. Caractérisation physico-chimique des extraits :

Les résultats des analyses physico-chimiques de deux extraits de la variété G et N, exprimés par rapport à la matière sèche sont représentés dans le tableau VI.2.

Tableau VI.2 : Résultats des analyses physico-chimiques de deux extraits des protéines.

Composants en % / MS	Teneur en eau	Matière sèche	Teneur en cendres (matières minérales)	Teneur en protéines
G	10,1	89,9	0,0240	74,68
N	8,5	91,5	0,0238	62,82

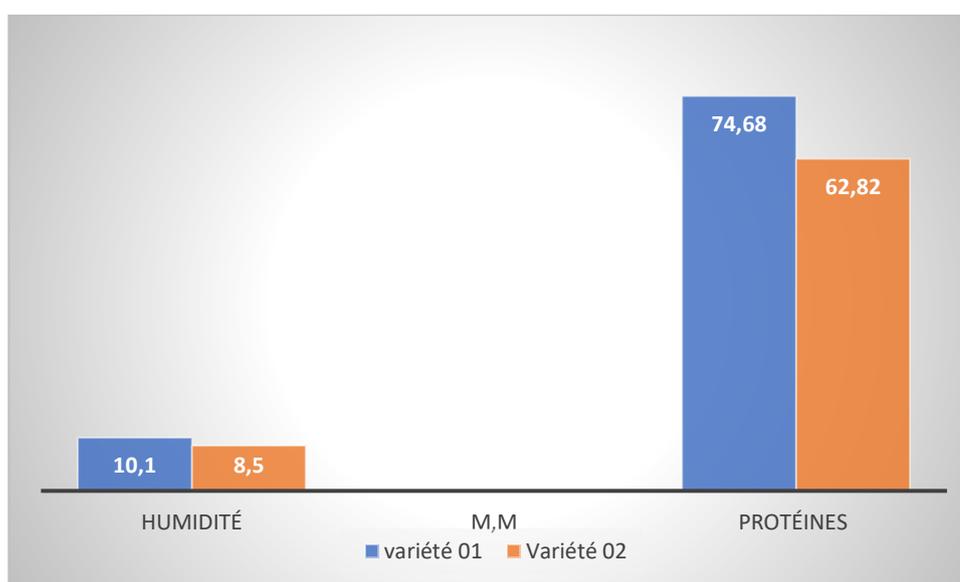


Figure VI.3 : Résultats des analyses physico-chimiques des extraits.

VI.3.1.1. Teneur en eau :

Les protéines extraites d'avoine présentent une teneur en eau différente. D'après le tableau on peut constater que la variété G présente un taux d'humidité 10.1% (89.1) est plus élevé que celui de la variété N qui est de 8.5% (91.5%) ce qui lui permet de se protéger contre la multiplication des microorganismes. [64]

VI.3.1.2. Teneur en cendres :

Le taux de cendres correspond à la totalité des sels minéraux d'un échantillon. [65] Les protéines extraites de deux variétés d'avoine présentent presque le même taux de cendres 0.0240 % pour la variété G et 0.0238 % (89.79% MS) pour la variété N (tableau VI.2).

Ce que montre que les cendres ayant une faible proportion dans les extraits protéiques.

Il est possible d'estimer des niveaux de minéraux bien supérieurs aux valeurs observées car de nombreux sels minéraux sont détruits, modifiés ou se volatilisent à la température d'incinération (550°C).

VI.3.1.3. Taux en protéines :

D'après le tableau VI.2 l'étude effectuée sur l'extrait protéique des deux variétés montre que la teneur en protéines de la variété G (74,78%) est plus élevée que celle de la variété N (62,82%).

La teneur en protéines de l'avoine dépendra également de la variété et de la qualité de l'avoine utilisé pour l'extraction.

VI.3.2. Identification par spectroscopie infrarouge (FTIR) :

Une étude de la structure chimique des protéines a été réalisée dans une gamme de nombres d'ondes de 4000 à 500 cm^{-1} . Le spectre ci-dessous illustre les groupements caractéristiques des protéines.

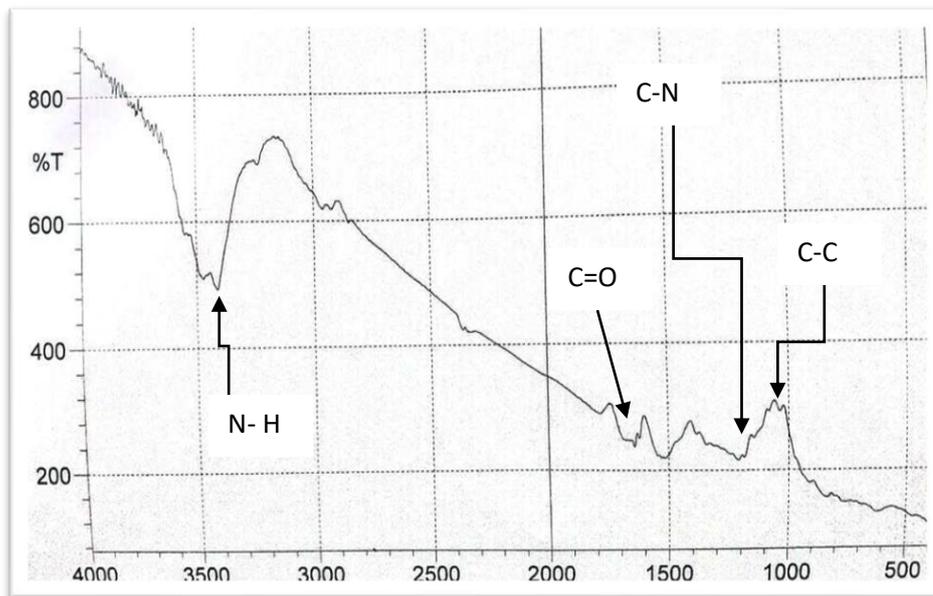


Figure VI.4 : Spectre IRTF d'extrait protéines de la variété G.

Le tableau ci-dessous représente les pics FTIR des protéines de la variété G.

Tableau VI.3 : Identification des pics FTIR des protéines de la variété G.

Groupement	Fréquences (cm ⁻¹)
C-C	1037.63 et 1211.21
C=O	1616.24
C-N	1188.07 et 1211.21
N-H	3409.91

Un ensemble de pics visibles dans la région entre 1037.63 cm⁻¹ et 1211.21cm⁻¹ est attribué aux vibrations de la liaison C-C. Un pic localisé à 1616.24 cm⁻¹ est attribué à la liaison C=O. Les pics d'étirement C-N se situe entre 1188.07cm⁻¹et 1211.21. Ainsi qu'une bande de pic de 3409.91cm⁻¹ montrent une présence de vibrations de la liaison N-H.

A- Identification des pics FTIR des protéines variété N :

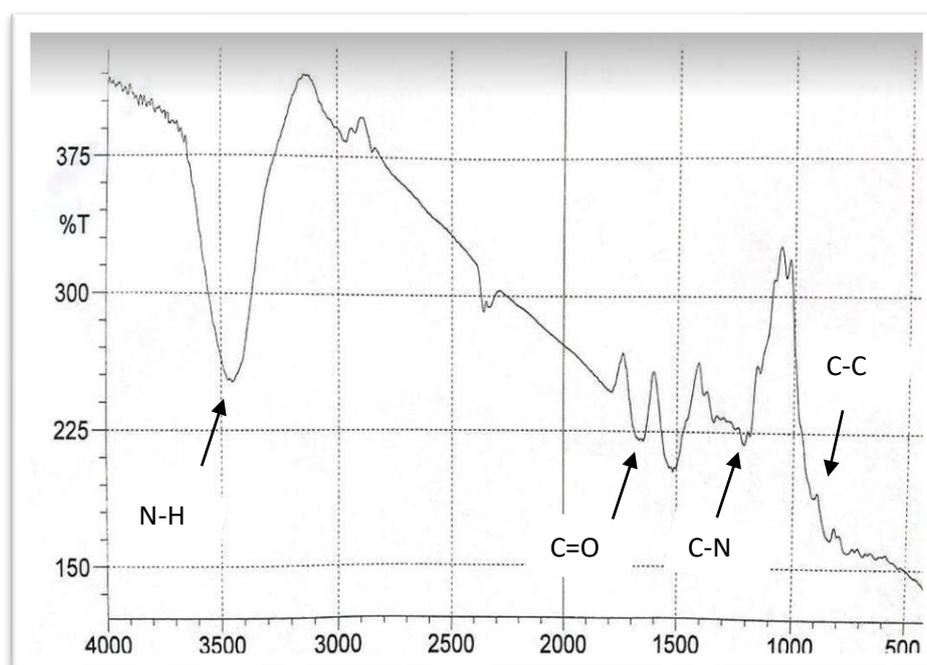


Figure VI.5 : Spectre FTIR d'extrait de protéines de la variété N.

Le tableau ci-dessous représente les pics FTIR des protéines de la variété N.

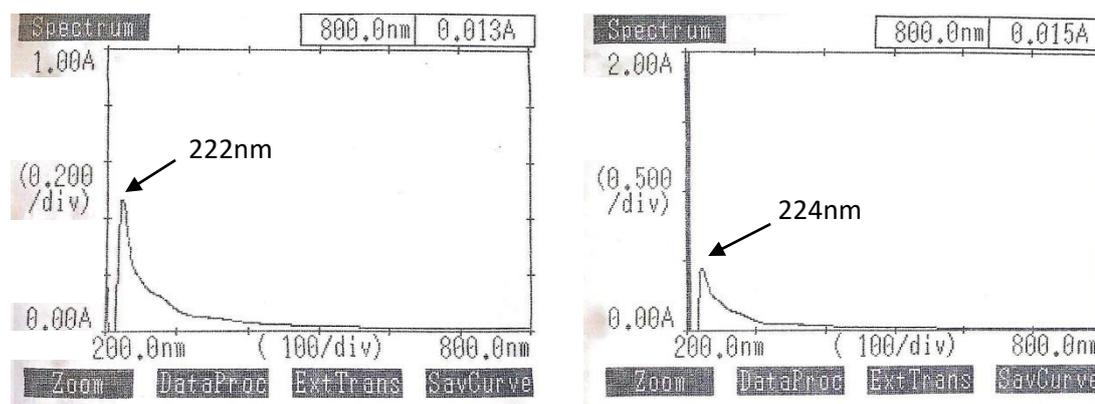
Tableau VI.4 : Identification des pics FTIR des protéines de la variété N.

Groupement	Fréquences (cm ⁻¹)
C-C	914.2 et 1211.21
C=O	1677.95
C-N	1211.21
N-H	3452.34

On remarque dans la région entre 914.2cm⁻¹ et 1211.21cm⁻¹ des pics attribués aux vibrations de la liaison C-C. et à 1677.95 cm⁻¹ ceux attribués à la liaison C=O. Les pics d'étirements C-N se situent à 1211.21 cm⁻¹. Ainsi qu'une bande vers 3452.34cm⁻¹ montrent une présence de la liaison N-H, caractéristiques des acides aminés.

VI.3.3. Identification par spectroscopie UV- VISIBLE :

La figure ci-dessous illustre les spectre d'absorbions dans la région UV pour les deux variétés G et N.



Figures VI.6 : les spectres UV-VISIBLE des variétés G et N.

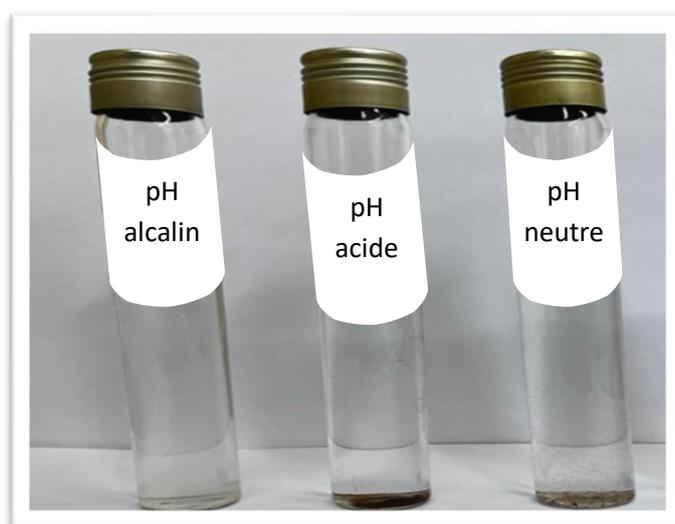
Les acides aminés constitutifs des protéines ont une forte capacité d'absorption à 280 nm. [68] Les extraits protéiques des deux variétés d'avoine présentent presque la même longueur d'ondes d'absorption qui est proche de λ_{max} des protéines citées dans la bibliographie avec des valeurs de 224nm pour la variété N et 222nm pour la variété G. Les spectres UV offrent peu d'informations sur la structure moléculaire des composés en comparaison avec les spectres IR. Cependant, elles sont utilisées soit pour confirmer ou identifier les molécules recherchées par utilisation de la loi de Beer-Lambert.

VI.3.4. La solubilité des extraits de protéines :

Les résultats de l'influence du pH sur la solubilité des protéines sont mentionnés dans le tableau ci-dessous :

Tableau VI.5 : l'influence du pH sur la solubilité des protéines

Solvant	pH neutre	pH acide	pH alcalin
Solubilité	Insoluble	Peu soluble	Très Soluble



Figures VI.7 : La solubilité de protéines à différent pH (photo originale).

Les résultats obtenus indiquent que les protéines peuvent être solubles dans un pH alcalin ($\text{pH} > 10$), insolubles à un pH neutre et peu solubles dans un pH acide ($\text{pH} < 2$) comme le montre la figure IV.7.

Les protéines d'avoine sont principalement constituées de glutélines et de prolamines (80 à 90%).[32] Les prolamines se dissolvent dans l'eau et sont insolubles dans les milieux acides ($\text{pH} < 2$). Les glutélines présentent une grande solubilité dans des milieux alcalins ($\text{pH} > 10$), ce qui explique la solubilité des extraits protéiques dans un pH très alcalin. Ces résultats suggèrent que la proportion des glutélines est supérieure à celle de la prolamine dans les extraits étudiés.

VI.3.5. L'activité antioxydante :

La méthode de DPPH a été utilisée pour évaluer l'activité anti radicalaire des extraits de protéines de la variété N. Les résultats obtenus indiquent que les protéines de la variété N d'avoine présente une activité anti radicalaire de 63,59 % (supérieur à 50%) à une concentration de 0,6 mg/ml comme indiquer dans le tableau VI.6.

Tableau VI.6 : Les résultats de l'activité anti radicalaire de protéines variété N.

Concentration	Abs	Contrôle	L'activité anti radicalaire
0.6mg / ml	0.305	0.830	63.59%

VI.3.6. Activité antibactérienne :

Nous avons évalué l'effet des protéines de l'avoine des 2 variétés dissoutes dans le milieu TSE sur les différentes souches (5 bactéries : *E. coli* ; *Staphylococcus aureus* ; *Salmonelle aboney* ; *Bacillus subtilis* ; *Pseudomonas aeruginosa*, et 2 champignons : *Aspergillus brasiliensi* ; *Candida albicans*). Cette évaluation se manifeste par l'apparition d'une zone d'inhibition autour du disque dissout dans la solution (protéine + TSE). La zone d'inhibition présente des diamètres variables d'une bactérie à une autre et d'une variété à une autre. Les tableaux ci-dessous présentent les différentes zones d'inhibition obtenues après incubation pendant 24 heures à une température de 37°C pour les bactéries et pendant 3 jours à une température de 25°C pour les champignons :

Les résultats des différents tests antibactériens des deux variétés d'avoine sont regroupés dans le tableau suivant :

Tableau VI.7 : Profil de l'activité antibactérienne des deux variétés d'avoine dans le milieu Sabouraud.

Les champignons	Les échantillons
<i>Aspergillus brasiliensi</i>	
<i>Candida albicans</i>	

Tableau VI.8: Profil de l'activité antibactérienne des deux variétés d'avoine dans le milieu MH.

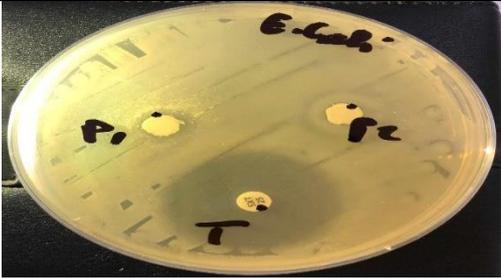
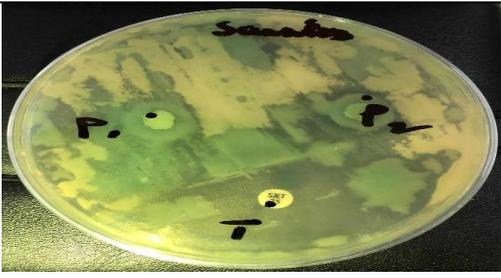
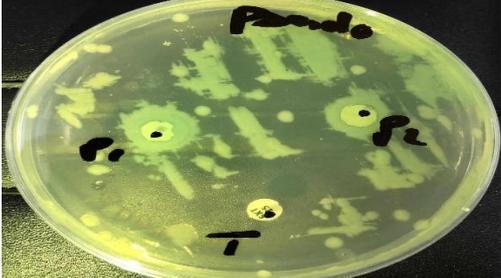
Les bactéries	Les échantillons
<i>E. coli</i>	
<i>Staphylococcus aureus</i>	
<i>Salmonelle aboney</i>	
<i>Bacillus subtilis</i>	
<i>Pseudomonas aeruginosa</i>	

Tableau VI.9 : Les résultats des différents tests antibactériens des deux variétés d'avoine diamètre en (mm).

Souches	Variété G	Variété N	Disque antibiotique
<i>E. coli</i>	12	10	31
<i>Staphylococcus aureus</i>	14	13	00
<i>Salmonelle aboney</i>	08	10	12
<i>Bacillus subtilis</i>	00	00	39
<i>Pseudomonas aeruginosa</i>	14	12	00
<i>Aspergillus brasiliensi</i>	00	00	37
<i>Candida albicans</i>	10	11	12

Le tableau VI.9 montre que l'action antibactérienne varie en fonction de la nature de la souche. Une zone d'inhibition de 12mm a été observée pour la variété G, tandis qu'une valeur de 10mm a été obtenue pour la variété N. Le niveau d'inhibition obtenu pour l'antibiotique est supérieur à celui obtenu avec les deux variétés d'avoine.

Une zone d'inhibition de 14 mm de diamètre a été observée pour la variété G et 13 mm pour la variété N, tandis qu'aucune zone d'inhibition n'a été observée pour l'antibiotique.

En ce qui concerne la *Salmonelle Aboney*, il a été observé une zone d'inhibition de 12 mm pour l'antibiotique, tandis que de 08 mm pour la variété G et de 10 mm pour la variété N.

Bacillus subtilis présente une grande sensibilité à l'antibiotique avec une zone d'inhibition de 39mm, tandis que cette souche présente une résistance élevée aux protéines des deux variétés (00mm).

Selon les données, la souche *Pseudomonas* semble également plus résistante à l'antibiotique, avec une zone d'inhibition de 00mm. Tandis que les variétés G et N présentent des zones d'inhibition de 14mm et 12mm respectivement.

Et en ce qui concerne les souches de champignons, la souche *Aspergillus brasiliensi* présente une résistance élevée aux protéines dissoutes des deux générations. Cependant, pour l'antibiotique, cette souche est extrêmement sensible avec une zone d'inhibition de 37 mm.

Finalement, on a observé des zones d'inhibition similaires pour la variété G, N et l'antibiotique, mesurant respectivement 10mm, 11mm et 12mm.

L'activité antibactérienne de la protéine de l'avoine des deux variétés est satisfaisante pour cinq souches sur sept étudiées.

Lorsqu'elles sont exposées à l'action de protéine dissout dans le milieu TSE des deux variétés d'avoine, les souches *Bacillus subtilis* et *Aspergillus brasiliensi* sont les plus résistantes. Toutefois, les bactéries *Staphylococcus aureus* et *Pseudomonas aeruginosa* présentent une plus grande résistance à l'antibiotique que les autres souches.

Les différences dans l'activité antibactérienne des protéines dissoutes sont causées par les changements dans leurs compositions chimiques.

Ce sont des résultats très encourageants concernant l'effet de la consommation d'avoine sur la santé et aussi leurs conservations.

VI.4. Formulation des gélules :

La formulation des gélules a été effectuée pour les deux variétés **G** et **N**.

VI.4.1. Formulation des gélules de la variété **G** :

Le tableau VI.10 Représente la matrice des 11 expériences ainsi que les résultats obtenus après la formulation. Les facteurs étudiés sont exprimés en valeurs codées.

Tableau VI.10 : Matrice du plan d'expérience et les réponses enregistrées.

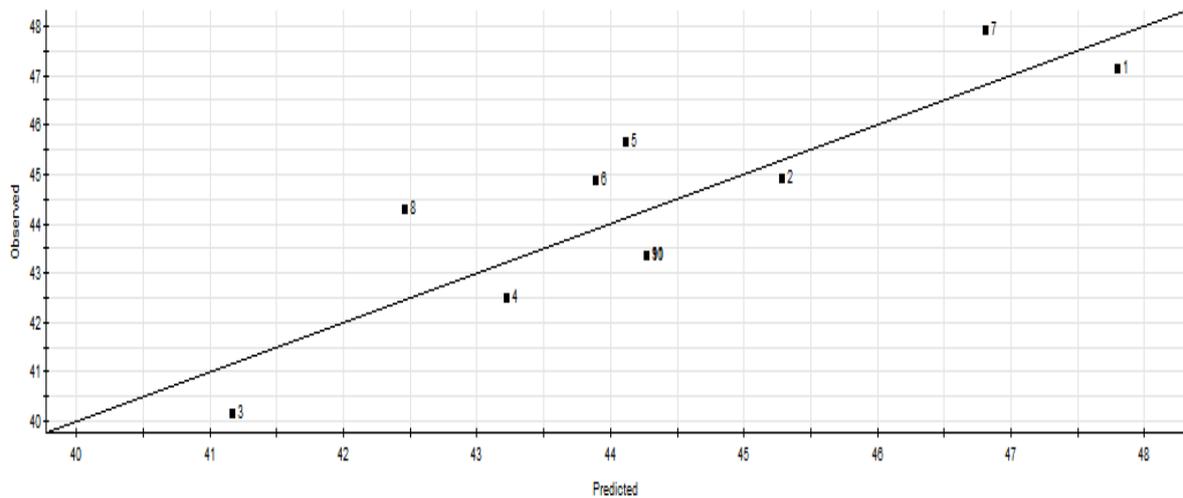
Expériences N°	Alginate de sodium	Amidon de maïs	Dissolution %	Uniformité de masse (g)
1	-1	-1	47.12	0.55
2	1	-1	39.93	0.59
3	-1	1	40.16	0.59
4	1	1	42.50	0.60
5	-1	0	45.64	0.57
6	1	0	44.86	0.57
7	0	-1	47.92	0.58
8	0	1	44.30	0.55
9	0	0	43.37	0.58
10	0	0	43.39	0.59
11	0	0	43.40	0.60

VI.4.1.1. Adéquation du modèle :

L'adéquation correspond à la mesure où les résultats expérimentaux sont approximatifs à ceux du modèle. Le coefficient de détermination multiple (R^2 et le Q^2 , qui évalue la capacité du modèle à prédire la réponse, sont utilisés pour évaluer la qualité du modèle polynomial adapté. Afin d'obtenir un ajustement optimal, il est essentiel que R^2 et Q^2 soient proches de l'unité.

A- Dissolution :

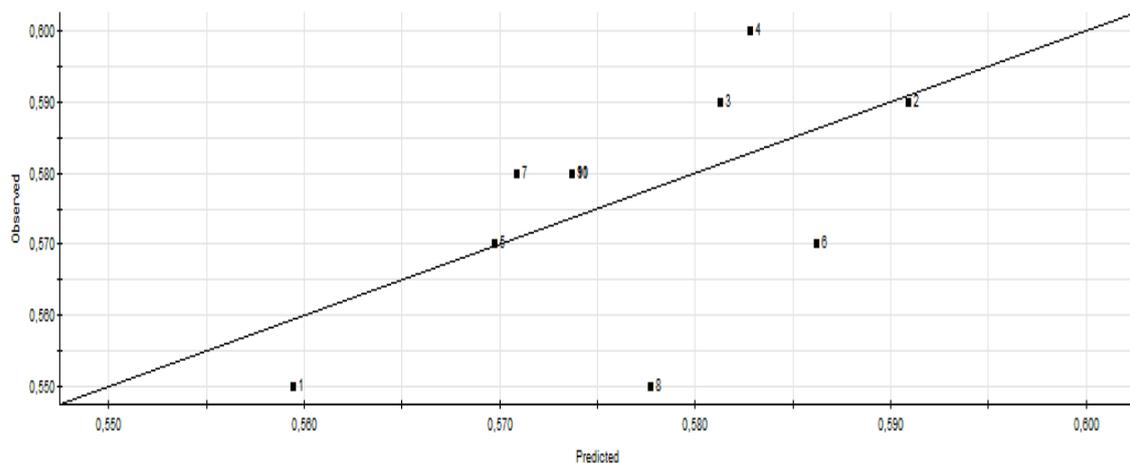
Une première évaluation du modèle établie est présentée dans la figure ci-dessous. Une dispersion homogène proche de la droite de référence est observée. Cela se manifeste par un coefficient de détermination $R^2=0.846$ valide et $Q^2 = 0,391$ moins valide.



Figures VI.8 : Représentation graphique des valeurs observées en fonction des valeurs estimées de la dissolution.

B- Uniformité de masse :

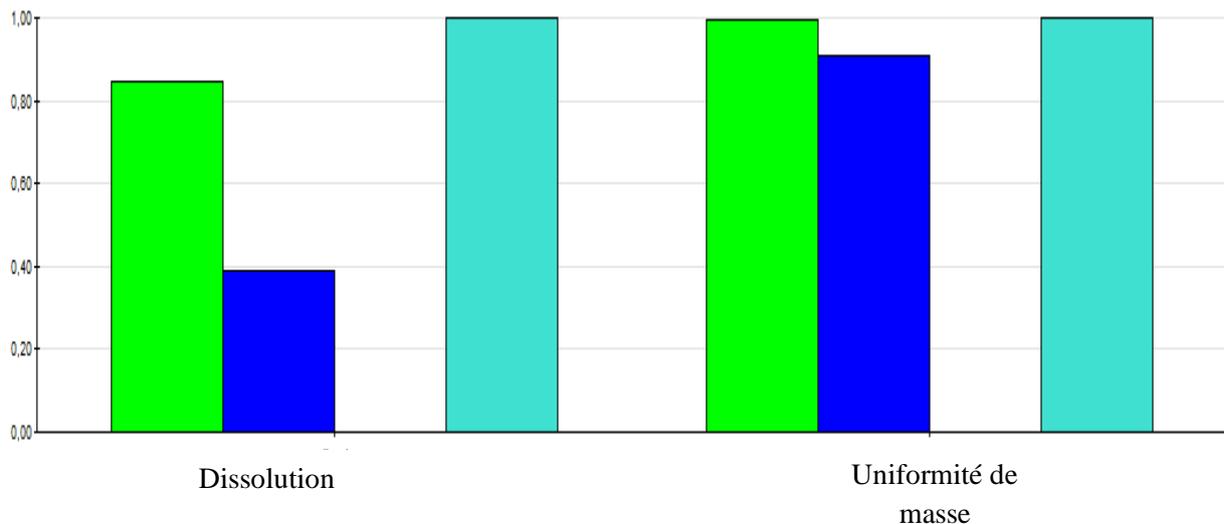
La distribution des points rapprochés de la bissectrice est illustrée dans la figure VI.9 avec $R^2 = 0,908$ et $Q^2 = 0,997$. Les coefficients élevés témoignent d'une excellente qualité descriptive du modèle. Cela démontre que ce dernier est valable.



Figures VI.9 : Représentation graphique des valeurs observées en fonction des valeurs estimées de l'uniformité de masse.

VI.4.1.2. Modélisation des réponses à l'aide du logiciel MODDE 6 :

Les valeurs de R^2 et Q^2 en fonction des réponses sont montrées dans la figure suivante :



Figures VI.10 : Valeurs de R^2 et Q^2 en fonction des réponses.

Le modèle est plus efficace lorsque les valeurs des coefficients R^2 et Q^2 sont proches de l'unité, ce qui permet de prédire la réponse. Selon la figure V.10, les valeurs de ces deux coefficients sont acceptables pour l'homogénéité de masse, mais moins acceptables pour la dissolution. Pour l'uniformité de masse, la valeur de R^2 est proche de l'unité et Q^2 est supérieur à 0,5, tandis que pour la dissolution, la valeur de R^2 est proche de l'unité et Q^2 est inférieur à 0,5.

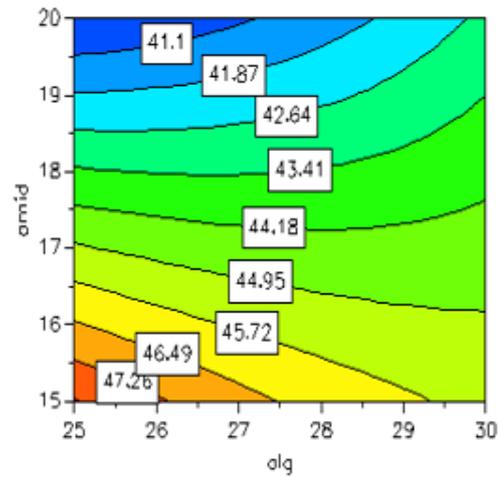
A- Modélisation de la dissolution :

La dissolution est décrite par l'équation VI.1 en éliminant les facteurs non significatifs, elle est en fonction du terme linéaire d'alginate de sodium et quadratique de l'amidon ainsi que l'interaction (amidon /alginate de sodium).

$$\text{Dissolution} = 44.5411 - 0.28732 \times \text{alg} - 1.81781 \times \text{amid} + 0.206 \text{ alg} \times \text{alg} + 0.654 \text{ alg} \times \text{amid} \quad (\text{VI.1})$$

D'après cette équation, il est probable que l'alginate de sodium et l'amidon influent négativement sur la dissolution lorsqu'ils sont incorporés séparément et positivement lorsqu'ils sont en association.

La figure VI.11 présente la surface de réponse de la dissolution avec l'amidon et l'alginate de sodium, nous constatons que les meilleurs résultats pour la dissolution sont obtenus au niveau bas de l'amidon et l'alginate de sodium.



Figures VI.11 : Courbes iso-réponse de la dissolution en fonction de l'amidon avec l'alginate de sodium.

B- Modélisation de l'uniformité de masse :

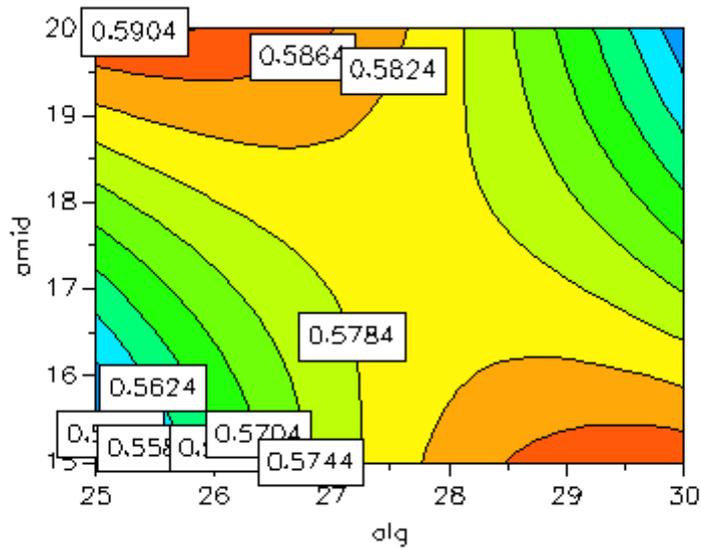
L'uniformité de masse est décrite par l'équation VI.2 en éliminant les facteurs non significatifs, elle est en fonction du terme linéaire d'alginate de sodium et quadratique de l'amidon ainsi que l'interaction (amidon /alginate de sodium).

$$\text{Uniformité de masse} = 0.579 + 0.0058 \times \text{Alg} + 0.0018 \times \text{amid} - 0.0064 \times \text{alg}^2 - 0.0096 \times \text{alg} \times \text{amid} \quad (\text{VI.2})$$

L'équation montre que les effets sont pratiquement inexistant car les résultats des 11 essais sont quasiment constants.

L'alginate de sodium améliore initialement l'uniformité, mais à des concentrations élevées, son effet devient négatif. L'amidon a un effet positif modéré. Cependant, la combinaison des deux réduit l'uniformité plus que chacun pris séparément. Pour optimiser l'uniformité de masse, il est essentiel de trouver un équilibre entre les quantités de ces deux composants.

La figure VI.12 présente la surface de réponse de l'uniformité de masse en fonction de l'amidon et de l'alginate de sodium, nous constatons que les meilleurs résultats pour l'uniformité de masse sont obtenus aux niveaux élevés de l'amidon et l'alginate de sodium respectivement.



Figures VI.12 : Courbes iso-réponse de l'uniformité de masse avec l'amidon et de l'alginate de sodium.

VI.4.2. Formulation des gélules de la variété N :

Le tableau VI.11 Représente la matrice des 11 expériences ainsi que les résultats obtenus après la formulation. Les facteurs étudiés sont exprimés en valeurs codées.

Tableau VI.11 : Matrice du plan d'expérience et les réponses enregistrées.

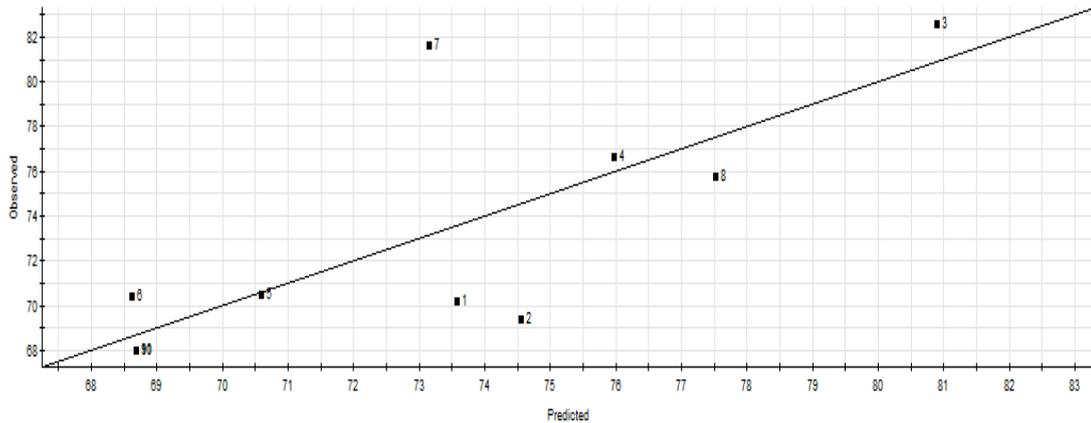
Expériences N°	Alginate de sodium	Amidon de maïs	Dissolution %	Uniformité de masse (g)
1	-1	-1	70.80	0.55
2	1	-1	69.35	0.61
3	-1	1	82.58	0.61
4	1	1	76.62	0.55
5	-1	0	70.47	0.55
6	1	0	70.44	0.60
7	0	-1	81.64	0.58
8	0	1	75.75	0.60
9	0	0	67.98	0.58
10	0	0	67.80	0.59
11	0	0	67.99	0.60

VI.4.2.1. Adéquation du modèle :

La mesure de l'adéquation est celle où les résultats expérimentaux sont proches de ceux du modèle. La qualité du modèle polynomial adapté est évaluée en utilisant le coefficient de détermination multiple R^2 et le Q^2 , qui évalue la capacité du modèle à prédire la réponse. Pour que l'ajustement soit optimal, il est nécessaire que R^2 et Q^2 soient proches de l'unité.

A- La dissolution :

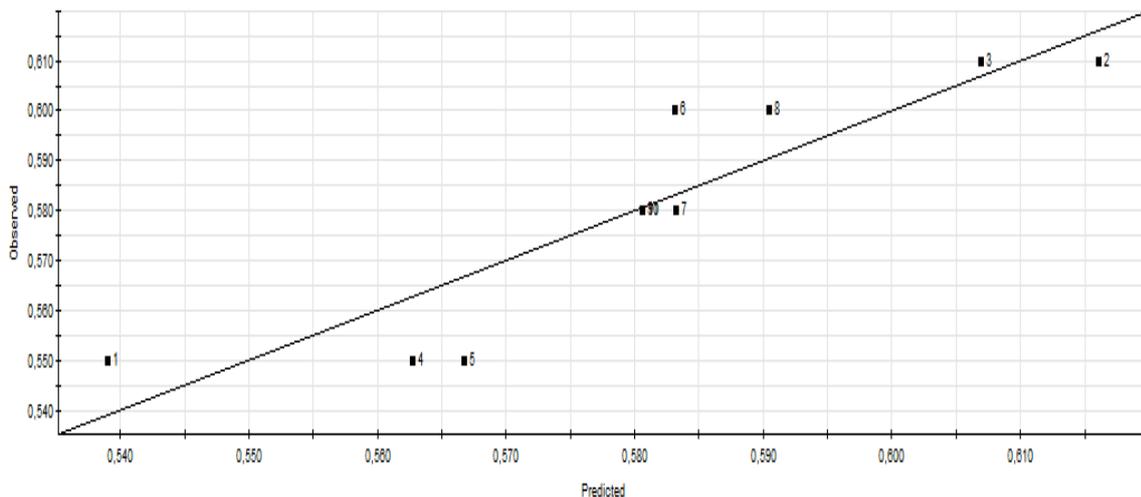
La figure VI.13 montre une première évaluation du modèle établie. Nous remarquons une dispersion homogène rapprochée de la droite de référence. Ceci est traduit par un coefficient de détermination $R^2=0.934$ très acceptable et $Q^2 = 0.547$ acceptable, ce qui confirme la validité du modèle.



Figures VI.13 : Représentation graphique des valeurs observées en fonction des valeurs estimées de la dissolution.

B- Uniformité de masse :

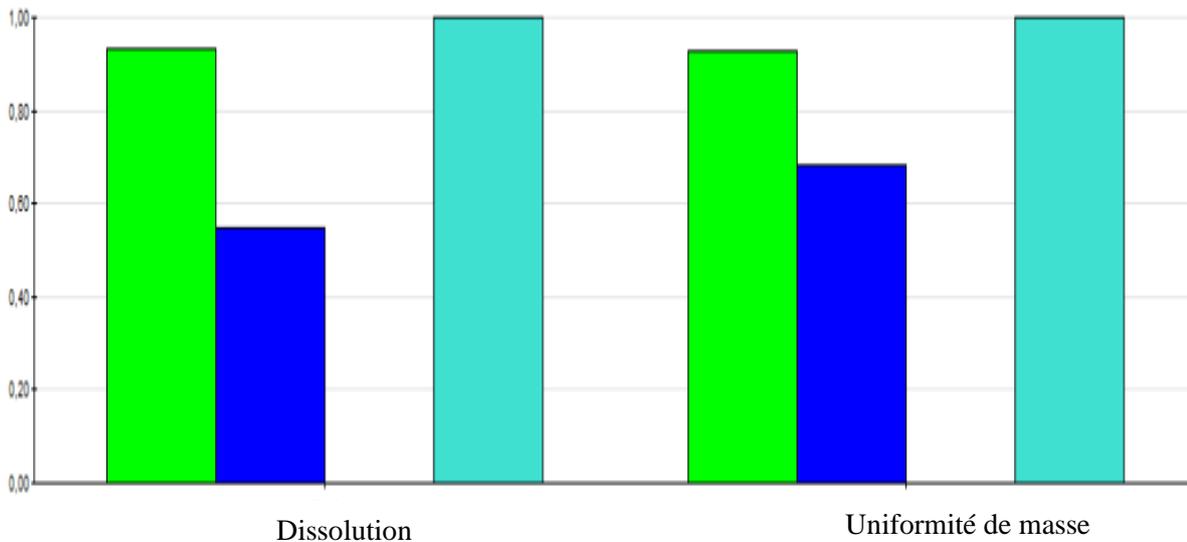
La représentation graphique présente une première évaluation du modèle établi. Il est possible de constater une dispersion homogène proche de la droite de référence. Cela se manifeste par une valeur de détermination $R^2=0.927$ très acceptable et une valeur de $Q^2 = 0,685$ acceptable, ce qui confirme la validité du modèle.



Figures VI.14 : Représentation graphique des valeurs observées en fonction des valeurs estimées de l'uniformité de masse.

VI.4.2.2. Modélisation des réponses à l'aide du logiciel MODDE 6 :

Les valeurs de R^2 et Q^2 en fonction des réponses sont montrées dans la figure suivante :



Figures VI.15 : Valeurs de R^2 et Q^2 en fonction des réponses.

Le modèle est plus efficace lorsque les valeurs des coefficients R^2 et Q^2 sont proches de l'unité, ce qui permet de prédire la réponse. Dans notre situation, les deux coefficients sont considérés comme acceptables pour la dissolution et l'uniformité de masse, comme illustré dans la figure VI.15. Pour toutes les réponses étudiées, la valeur de R^2 est proche de l'unité et la valeur de Q^2 dépasse 0,5.

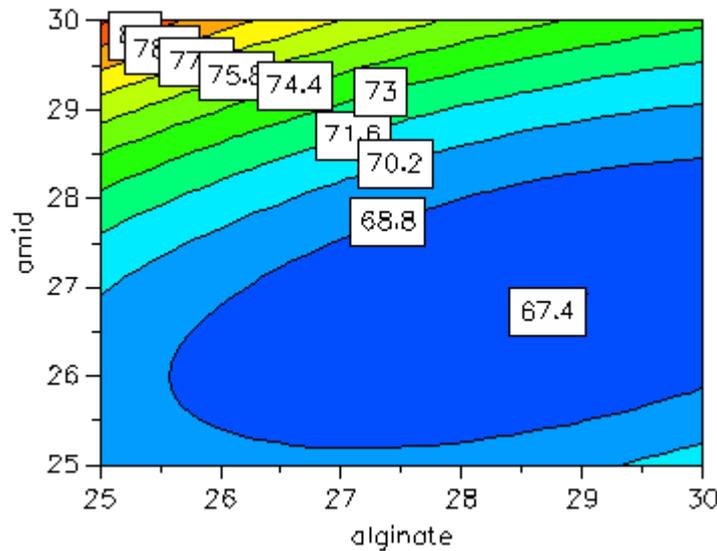
A- Modélisation de la dissolution :

La dissolution est décrite par l'équation VI.3 en éliminant les facteurs non significatifs, elle est en fonction du terme linéaire alginat de sodium et quadratique de l'amidon ainsi que l'interaction (amidon /alginat de sodium).

$$\text{Dissolution} = 68.537 - 1.629 \times \text{alg} + 2.697 \times \text{amid} + 2.214 \times \text{amid}^2 - 1.296 \times \text{alg} \times \text{amid} \quad (\text{VI.3})$$

Selon cette équation, nous observons que l'alginat de sodium a un effet négatif sur la dissolution, tandis que l'amidon a un effet positif. Toutefois, la combinaison d'amidon et d'alginat de sodium exerce une influence négative sur la dissolution.

La figure VI.16 présente la surface de réponse de la dissolution en fonction de l'amidon et d'alginate de sodium, nous constatons que les meilleurs résultats pour la dissolution sont obtenus au niveau élevé de l'amidon et niveau bas d'alginate de sodium.



Figures VI.16 : Courbes iso-réponse de la dissolution en fonction de l'amidon avec l'alginate de sodium.

B- Modélisation de l'uniformité de masse :

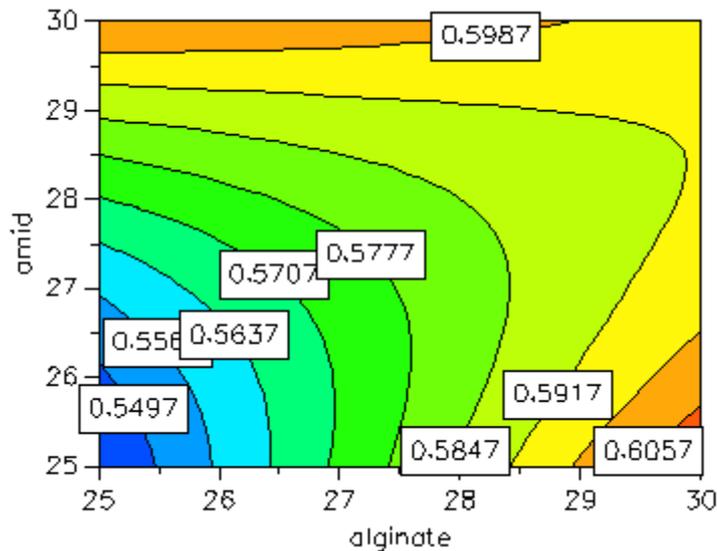
L'uniformité de masse est décrite par l'équation VI.4 en éliminant les facteurs non significatifs, elle est en fonction du terme linéaire alginate de sodium et quadratique de l'amidon ainsi que l'interaction (amidon /alginate de sodium).

$$\text{Uniformité de masse} = 0.578 + 0.012 \times \text{alg} - 0.011 \times \text{alg} \times \text{amid} \quad \text{(VI.4)}$$

Selon l'équation, il est possible de remarquer que les effets sont minimaux car les résultats des essais sont presque constants pour toutes les formulations.

D'après l'équation on peut constater que l'alginate influe positivement, et l'alginate avec l'amidon influe négativement sur l'uniformité de masse.

La figure VI.17 présente la surface de réponse de l'uniformité de masse en fonction de l'amidon et de l'alginate de sodium, nous constatons que les meilleurs résultats pour l'uniformité de masse sont obtenus aux niveaux élevés de l'amidon et l'alginate de sodium respectivement.



La figures VI.17 : Courbes iso-réponse de la dissolution en fonction de l'amidon et d'alginate de sodium.

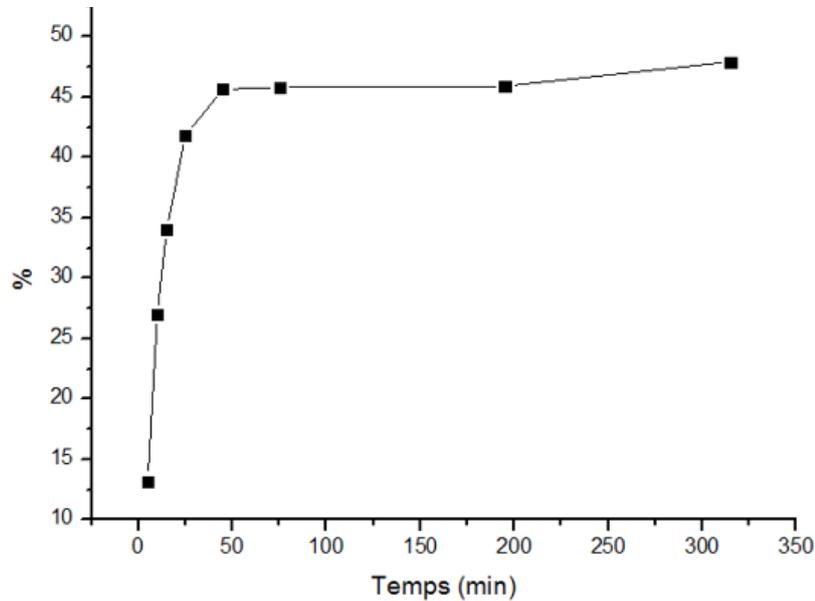
VI.5. Caractérisation des gélules :

VI.5.1. Caractérisation organoleptique des poudres :

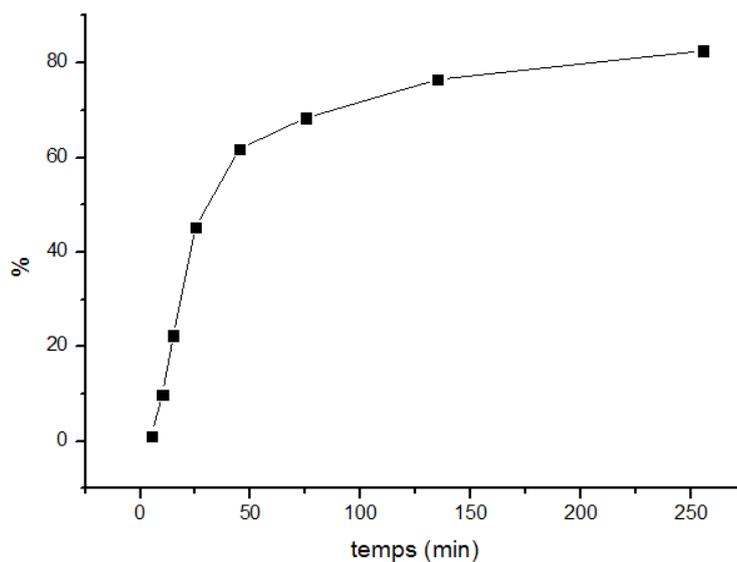
La variété G présente une texture de poudre fine, dépourvue d'odeur perceptible, et une teinte miel. En revanche, la variété N se distingue par sa texture similaire de poudre fine et l'absence d'odeur, mais sa couleur est notablement noire. Ces observations suggèrent des caractéristiques distinctes entre les deux poudres, notamment en termes de composition chimique. La présence de différences de couleur pourrait être particulièrement significative, suggérant des variations dans les composants. Cependant, l'absence d'odeur dans les deux cas pourrait suggérer des similitudes dans la composition de base. En conclusion, ces résultats soulignent l'importance de poursuivre les analyses pour mieux comprendre les différences entre les deux variétés et leur impact potentiel sur leur utilisation ou leur qualité.

VI.5.2. Test de la dissolution :

Les figures suivantes représentent les profils de libération de protéine en fonction du temps d'une gélule en milieux pH 1,2 de la variété G et N respectivement.



Figures VI.18 : Profils de libération de protéine en fonction du temps d'une gélule dans un milieu pH 1,2 de la variété G.



Figures VI.19 : Profils de libération de protéine en fonction du temps d'une gélule dans un milieu pH 1,2 de la variété N.

Le pourcentage de libération des protéines G et N en fonction du temps est illustré dans les deux graphes ci-dessus.

La libération de la protéine G est rapide lors de la phase initiale (0 à 50 minutes), atteignant environ 45% dans les 50 premières minutes. Par rapport à cela, la protéine N est encore plus rapidement libérée, atteignant environ 65% dans le même temps. La libération initiale de la protéine N est plus rapide et plus élevée que celle de la protéine G.

La courbe de la protéine G se stabilise pendant la phase intermédiaire (50 à 150 minutes), avec un pourcentage de libération de 45 à 50%. D'autre part, l'émission de la protéine N, même si elle est lente, continue de croître, atteignant environ 75%. De cette manière, pendant cette étape, la protéine N continue de se libérer à un rythme plus élevé que la protéine G, atteignant un pôle supérieur.

La libération de la protéine G augmente légèrement pendant la phase finale (150 à 300 minutes), atteignant un peu plus de 50%. La libération de la protéine N se poursuit lentement mais progressivement, atteignant environ 85% à la fin de la période étudiée. La libération totale de la protéine N est beaucoup plus élevée que celle de la protéine G à la fin de la période.

En conclusion, la protéine N est initialement plus rapide et en plus grande quantité que la protéine G. La protéine N a libéré près de 85 % de sa libération totale à la fin de la période étudiée, tandis que la protéine G n'a libéré qu'environ 50 %. Cela, probablement dû à l'effet d'alginate de sodium qui a un impact sur la vitesse de libération des principes actifs. La protéine G commence à se libérer plus tôt et reste relativement stable, tandis que la protéine N continue de se libérer lentement mais régulièrement. Enfin, on observe une libération initiale plus rapide de la protéine N et une libération totale plus élevée que la protéine G sur la période étudiée.

VI.5.3. Uniformité de masse :

Les essais sont effectués en utilisant des gélules de taille 00 d'une contenance de 0,91ml. D'après la Pharmacopée Européenne (Ph. Eur.) et FTM, la masse d'aucune gélule ne doit pas dépasser $462,12 \pm 3.16\%$ comme limite inférieure et $562,60 \pm 3.16\%$ comme limite supérieure.

- **Variété G :**

Les gélules de la variété G et leurs poids sont regroupés dans le tableau ci-dessous.

Tableau VI.12 : Résultats d'analyse de l'uniformité de masse de la variété G.

Gélules	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10
Poids(mg)	555	520	530	500	551	556	550	555	520	540

Le tableau montre que les poids de toutes les gélules ne dépassent pas les limites d'acceptation établies. Cela suggère que toutes les gélules présentent une distribution de masse uniforme, ce qui implique que l'analyse de l'homogénéité de masse est conforme aux normes de la Pharmacopée Européenne (Ph. Eur.) et FTM.

- **Variété N :**

Les gélules de la variété N et leurs poids sont regroupés dans le tableau ci-dessous.

Tableau VI.13 : Résultats d'analyse de l'uniformité de masse de la variété N.

Gélules	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10
Poids(mg)	551	534	545	528	530	522	550	560	566	567

A la lumière de ce tableau, les poids de toutes les gélules ne dépassent pas les limites d'acceptation établies. Cela indique que toutes les gélules ont une distribution de masse homogène, ce qui confirme que l'analyse de l'homogénéité de masse respecte les normes de la Pharmacopée Européenne (Ph. Eur.) et FTM.

On peut donc conclure que les gélules de deux variétés répondent aux normes de la pharmacopée Européenne et FTM.

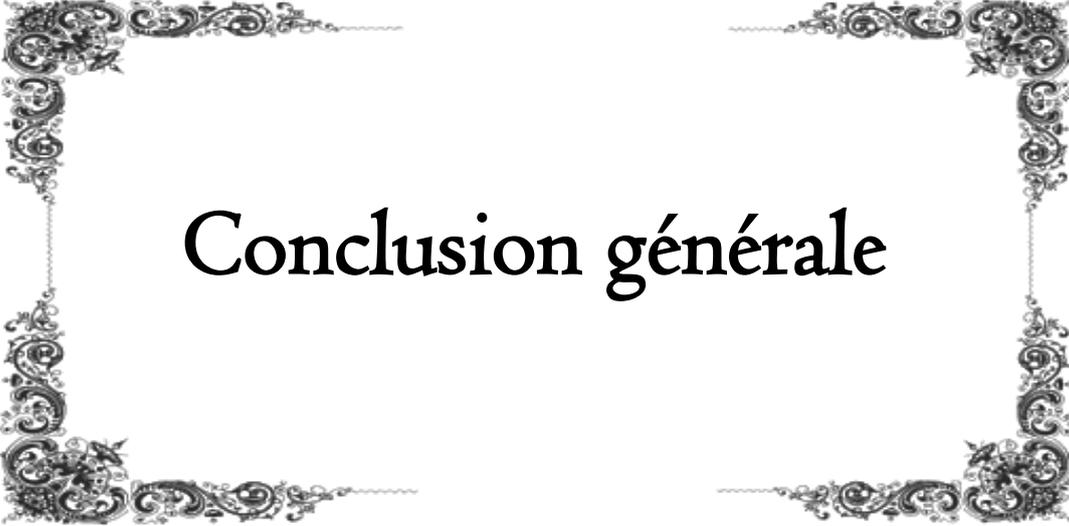
VI.5.4. Stabilité microbiologique :

Le tableau ci-dessous présentent résultats de stabilité de la gélule de la variété G après incubation pendant 24 heures à une température de 37°C pour le milieu gélose *Mueller-Hinton* et pendant 3 jours à une température de 25°C pour le milieu *Sabouraud dextrosé* :

Tableau VI.14 : Les résultats de la stabilité microbiologique dans le milieu MH.

Milieux	Avec conservateur	Sans conservateur
<i>Mueller Hinton</i>		
<i>Sabouraud dextrosé</i>		

Les résultats montrent une stabilité notable de la gélule dans les deux milieux de culture, *Mueller-Hinton* pour le dénombrement des germes aérobies totaux (DGAT) et *Sabouraud dextrosé* pour les moisissures et levures totales (DMLT). Cette stabilité indique que la gélule, avec ou sans conservateur, maintiennent une faible contamination microbienne et fongique. L'absence de croissance significative dans les boîtes de Pétri après les périodes d'incubation respectives (24 heures à 37°C pour DGAT et 3 jours à 25°C pour DMLT) suggère une bonne qualité microbiologique des gélules du a l'efficacité d'acide ascorbique pour prolonger la durée de vie des gélules ainsi les propriétés conservatrices des protéines. Toutefois, les conditions de préparations et de conservation des gélules semblent efficaces pour inhiber la prolifération des microorganismes, garantissant ainsi la sécurité et l'intégrité du produit.



Conclusion générale

CONCLUSION GENERALE

En raison des différentes propriétés nutritionnelles et thérapeutiques de l'avoine, et ses niveaux acceptables des protéines alimentaires, l'objectif principal de cette présente étude est le développement d'un complément alimentaire à base de protéines d'avoine provenant de deux variétés Algériennes.

Selon les résultats de l'enquête ethnobotanique menée, il a été observé que la population Algérienne consomme correctement les flocons d'avoine et connaît très bien les compléments alimentaires et leurs effets sur la santé.

La qualité des deux variétés d'avoine étudiées a été confirmé par les analyses physico-chimiques qui ont montré une forte teneur en eau, en cendres et surtout en protéines d'avoine.

L'efficacité de l'extraction des protéines d'avoine confirme la présence de cette substance dans les variétés Algériennes. Cette dernière présente une valeur énergétique de 298,78Kcal et 251,28Kcal pour la variété G et N respectivement. Les études menées ont révélé une activité antibactérienne efficace sur 5 souches sur sept étudiées et une activité antioxydante de 63% remarquable contre le radical DPPH à une concentration de 6 mg/ml pour la variété N des extraits obtenus.

Pour la formulation de notre complément alimentaire, nous avons employé le plan d'expériences afin d'améliorer les niveaux des facteurs étudiés susceptibles d'influencer ses caractéristiques. Cette méthode nous a aidé à planifier plus efficacement les essais de formulation et à obtenir un maximum d'informations en utilisant le minimum d'expériences. Ainsi, 11 formulations ont été élaborées. Chaque formulation a été caractérisée par la mesure de la dissolution et de l'homogénéité de masse.

Les résultats d'analyse du modèle mathématique montrent clairement qu'il est bien ajusté pour l'uniformité de masse des deux variétés et correctement adapté pour la dissolution de la variété N et moins adapté pour la variété G. La modélisation des réponses avec le logiciel Modde 6 a montré que pour la variété G, les meilleurs résultats de dissolution ont été obtenus avec des niveaux bas d'amidon de maïs et d'alginate de sodium, tandis que l'homogénéité de masse s'améliore à des niveaux élevés de ces composants. Pour la variété N, les meilleurs résultats de dissolution sont atteints avec des niveaux élevés d'amidon de maïs et des niveaux bas d'alginate de sodium, avec une homogénéité de masse également optimisée à des niveaux élevés de ces deux composants.

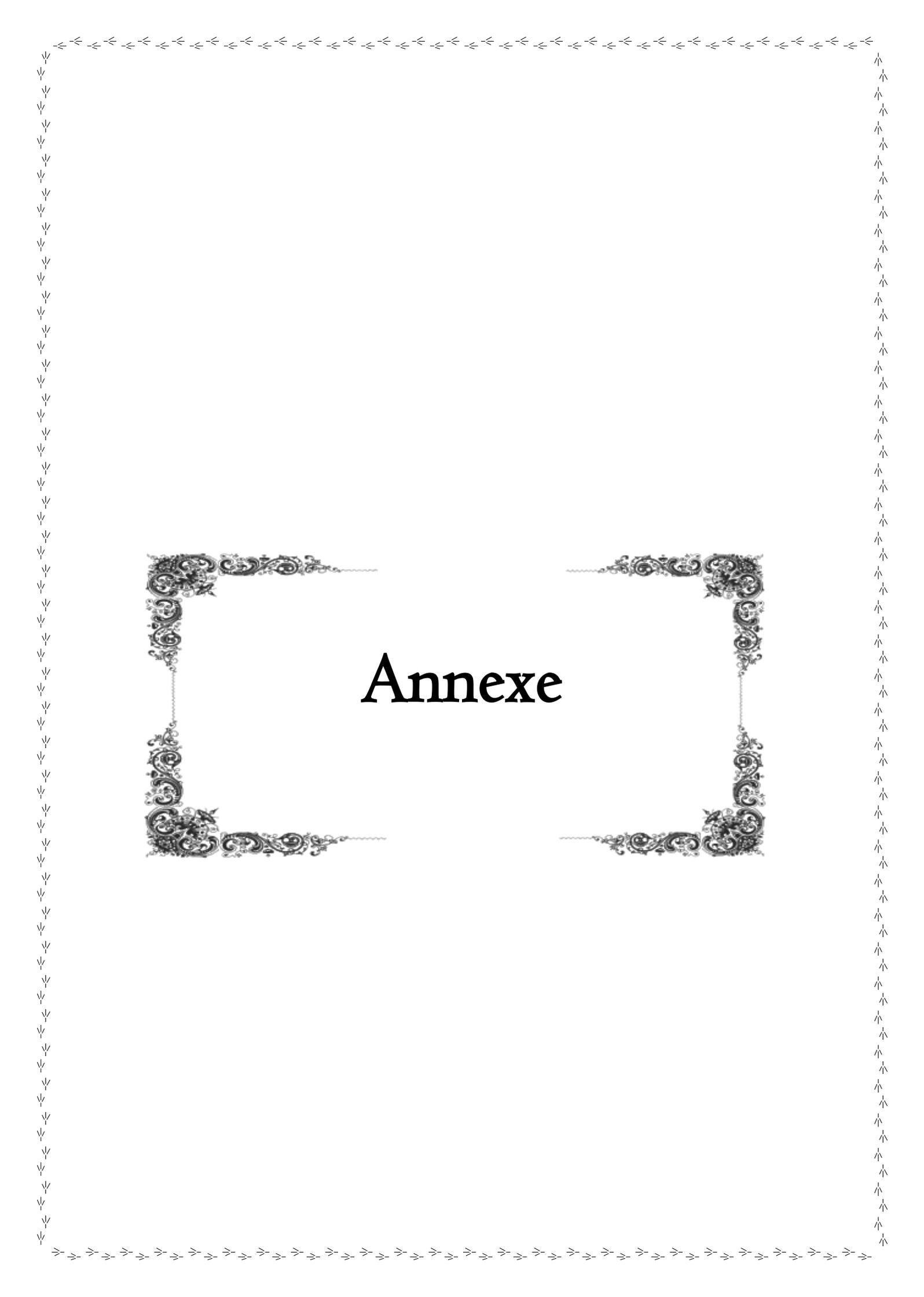
Après l'optimisation de la formulation, les gélules ont été caractérisée par la détermination des propriétés organoleptiques de la poudre, test de dissolution, l'uniformité de masse et la stabilité microbiologique.

La qualité et les effets nutritionnels et thérapeutiques de l'avoine Algérienne sont démontrés par ces résultats, ce qui suggère que leur utilisation dans l'industrie pharmaceutique pourrait être très ambitieuse.

L'utilisation d'un complément alimentaire intéressant pour la diététique pourrait résoudre les problèmes liés à la pénurie de médicaments et apporter une amélioration supplémentaire.

Comme perspective, nous souhaitons pour les prochaines recherches élargir le travail et de réaliser la dissolution dans des conditions réelles et de remplacer l'alginate de sodium par un autre excipient pour améliorer la libération. Il est recommandé aussi d'incorporer ces différents composants, tels que les celluloses et les matières grasses, dans des formulations destinées aux patients pour la consommation des produits Bio afin d'assurer un mode de vie plus sain et pour le bien-être.

Enfin, nous avons compris que l'objectif d'une recherche n'est pas nécessairement de fournir des réponses concrètes, mais d'essayer de contribuer, même si c'est de manière limitée, aux problématiques actuelles. Comme l'indique trempenaars : " world culture is a myriad of different ways of creating the integrity without which life and business cannot be conducted. there are no universal answers, but there are universal questions or dilemmas, and that is where we all need to start". [66]



Annexe

Annexe N°1

Questionnaire sur « Les Compléments alimentaires Et l'avoine »

1. Age ?
- < 19
 - 20-29
 - 30-39
 - 40-49
 - 50-59
 - 60 <
2. Sexe ?
- Homme
 - Femme
3. Etat ?
- Homme sportif
 - Femme sportive
 - Femme enceinte
 - Autres
4. Etat intellectuel
- Alphabète
 - Niveau moyen (primaire, Cem, lycée)
 - Universitaire (bac et plus)
5. Zone d'habitation ?
- Alger
 - Blida
 - Tipaza
6. Connaissez-vous les compléments alimentaires ?
- OUI
 - NON
5. En avez-vous déjà consommé ?
- OUI
 - NON
- Date :
- Lieu :
6. Si Non, pourquoi n'en avez-vous jamais consommé ?
- Par méconnaissance
 - Par manque de conviction quant à l'efficacité
 - A cause du prix excessif
 - Non recommandé ni par un médecin ni par des proches
7. Pour quelles raisons ?
- Améliorer la santé générale
 - Faire face à une maladie
 - Améliorer un point particulier
 - Combler une carence
 - Par curiosité
8. Dès lors, de façon plus précise, quel(s) domaine(s) de santé désirez-vous améliorer par la prise de compléments alimentaires ?
- Digestion et transit intestinal
 - Trouble du sommeil
 - Circulation sanguine (cholestérol)
 - Perte de poids
 - Fatigue générale
 - Stress
 - Déprime
 - Rhumatisme
 - Ménopause
 - Ralentissement du vieillissement
 - Renforcement des défenses naturelles
 - Epuration des toxines
9. Quels sont les composants présents dans le(s) complément(s) alimentaires(s) que vous consommez ?
- Acide gras oméga-3
 - Vitamines
 - Minéraux
 - Huiles de poissons
 - Extraits de plantes
 - Extraits de fruits
 - Concentré d'algues
 - Autres...

10. A quelle fréquence consommez-vous des compléments alimentaires ?

- Occasionnellement
- Régulièrement (chaque année pendant un mois)
- Fréquemment (chaque semaine)

11. Lisez-vous les notices fournies avec les compléments alimentaires ?

- Toujours
- Souvent
- Parfois
- Jamais

12. Vous sentez-vous globalement mieux suite à la prise de compléments alimentaires ?

- Oui clairement
- Oui, il me semble
- Non

13. Si oui, les effets positifs ressentis correspondent-ils à ceux décrits sur l'emballage des compléments alimentaires consommés ?

- Oui
- En partie
- Non

14. Les compléments alimentaires et les aliments fonctionnels, vous êtes :

- Convaincu
- Convaincu mais pas pour tous les produits présents sur le marché
- Sceptique
- Très sceptique

15. Pensez-vous qu'un produit naturel contenu dans des compléments alimentaires puisse avoir des effets néfastes sur la santé ?

- Oui
- Non
- C'est probable
- Je ne sais pas

16. Pensez-vous que les compléments alimentaires sont toujours compatibles avec la prise de médicaments ?

- Oui
- Non
- C'est probable
- Je ne sais pas

17. Et ce qui concerne l'avoine, vous la connaissez ?

- Oui
- Non

18. La forme d'avoine utilisée ?

- Céréales
- Farine
- Flocon

19. Vous consommez l'avoine ?

- De votre propre initiative ?
- Sous le conseil d'un diététicien ?
- Sur recommandation d'un proche ?
- Après avoir lu un article / vu une émission télévisée ?

20. Quel est le budget moyen **par mois**, lorsque vous en consommez, consacré à l'achat d'avoine ?

- Moins de 500 Da
- Entre 500 et 1000 Da
- Entre 1000 et 2000 Da
- Plus de 2000 Da

21. Est-ce que vous souhaitez trouver un complément alimentaire à base d'avoine ?

- Oui
- Non
- Cela dépend selon l'efficacité

Annexe N° 2



Appareil de centrifugation (Centrifuge 5702 R).



UV-VIS SPECTROMETER (UV-1700_{PharmaSpec}).



Le spectromètre Shimadzu FTIR-8900.



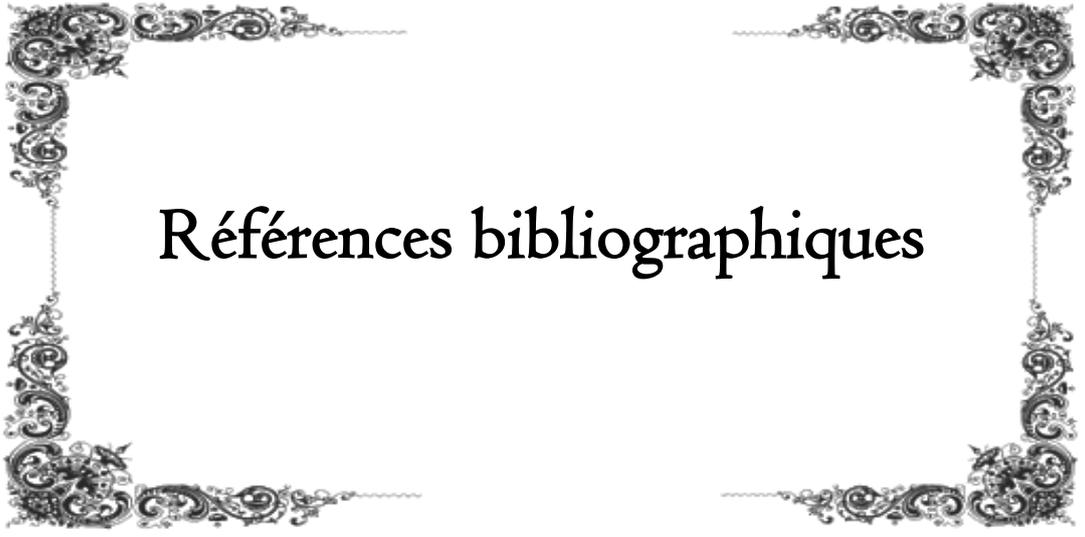
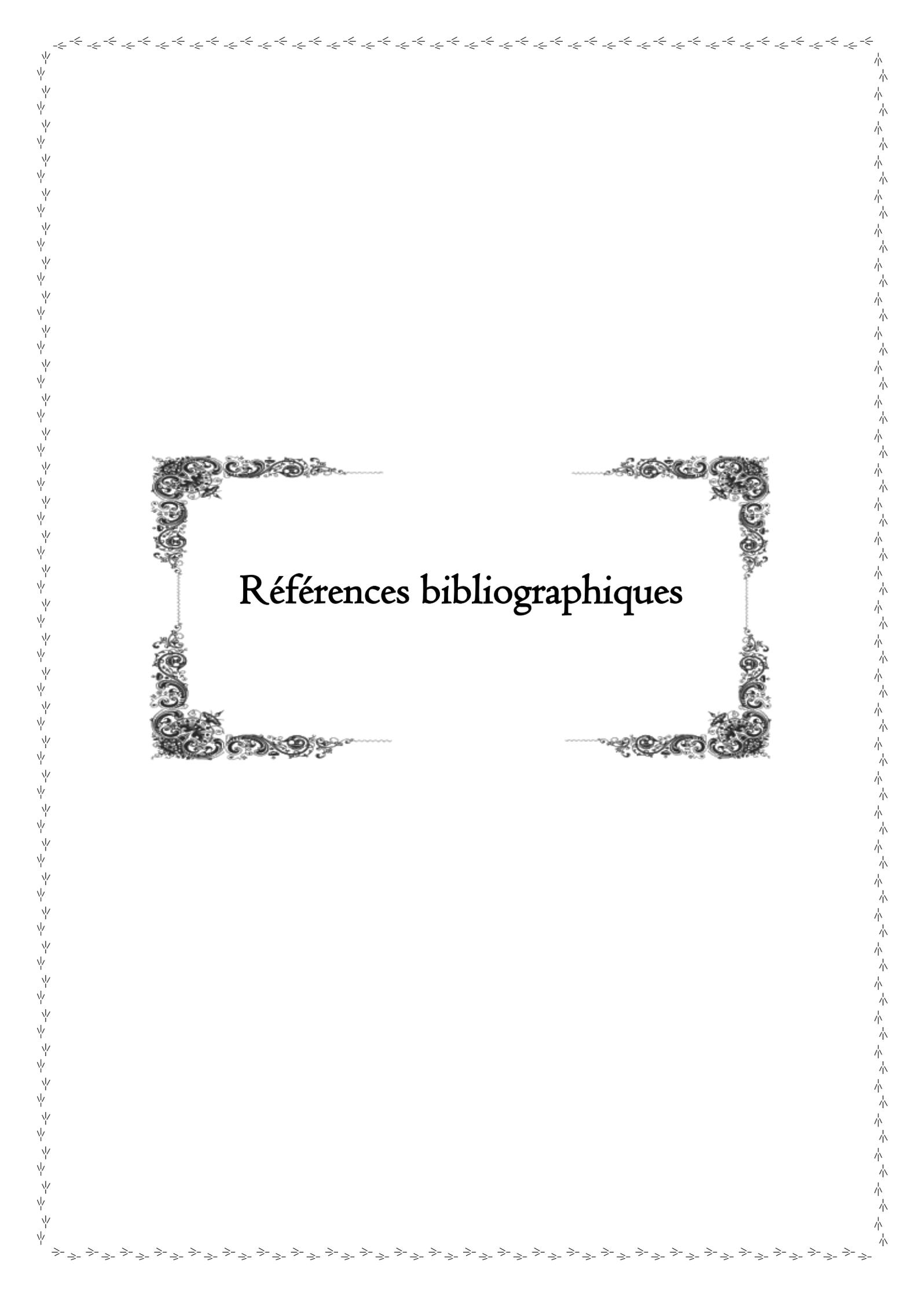
Appareil KJELDAHL (Behr Labor-Tchnik GmbH D-40599 Düsseldorf)



Un broyeur (High-speed Multi-function Grinder RRH-500A).



Four à moufle.



Références bibliographiques

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- [1]- Mariya Fomina et all (2018) International scientific and practical conference "AgroSMART - Smart solutions for agriculture"
- [2]- Anne-Marie Jouve et al (2000) La filière des céréales dans les pays du Maghreb : constante des enjeux, évolution des politiques.
- [3]- Yves CLERGET BIODIVERSITÉ DES CÉRÉALES Origine et évolution-
- [4] mémoire fin d'étude effets de l'ajout de la farine et flocon d'avoine sur les qualités physicochimiques et organoleptiques des yaourts brassés
- [5]- Christina Klose & Elke K. Arendt (2012) Proteins in Oats; their Synthesis and Changes during Germination: A Review
- [6]- Imen HILALI (2023) l'utilisation des compléments alimentaires chez les consommateurs tunisien.
- [7]- Solar Energy Materials and Solar Cells An international journal devoted to photovoltaic, photothermal and photochemical solar energy conversion
- [8]- Igor G. Loskutov and Howard W. Rines Devoted to Ken Frey – Oat Breeder Avena
- [9]- Le blé dur « Triticum durum »
- [10]- Diana Pinto, Francisca Rodrigues, n Food Waste Recovery (Second Edition), 2021 (Avena sativa).
- [11]- FuYongBi (2018) Oat evolution revealed in the maternal lineages of 25 *Avena* species
- [12]- Aditya Pratap et al (2014) Alien Gene Transfer in Crop Plants, Volume 2: Achievements and Impacts
- [13]- M. X. Zhou et al (1999) The effect of growing sites on grain quality of oats and pasting properties of oatmeals
- [14]- Webster, F.H. (1996). Oats. In: Henry, R.J., Kettlewell, P.S. (eds) Cereal Grain Quality. Springer, Dordrech
- [15]-]- M. Glennie-Holmes, (1999) The effect of growing sites on grain quality of oats and pasting properties of oatmeals.
- [16]- Smadhi D et al (2015) Evolution Des Cultures Céréalières (1876-2011) En Algérie Et Perspective.
- [17]- mémoire fin d'étude : effets de l'ajout de la farine et flocon d'avoine sur les qualités Physicochimiques et organoleptiques des yaourts brassés.

[18]- mémoire fin d'étude : Conception et élaboration d'une barre de céréales à base d'avoine
Et de fraises séchées et de sirop de dattes.

[19]- White, E.M. (1995). Structure and development of oats. In: Welch, R.W. (eds) The Oat Crop. World Crop Series. Springer, Dordrecht

[20]- Rajinder Singh et al *Avena sativa* (Oat), A Potential Nutraceutical and Therapeutic Agent: An Overview

[21]- Lokesh Kumar ^{et al}(2021) Oat proteins: A perspective on functional properties

[22]- mémoire fin d'étude : Utilisation des marqueurs morphologiques et biochimiques pour l'analyse de la diversité génétique de l'espèce d'avoine tétraploïde *Avena magna*.

[23]- Stuart Helliwell et al (1998) Structure and Pasting Properties of Oat Starch.

[24]- RAPPORT SCIENTIFIQUE Production et utilisation de l'avoine fourragère (*Avena strigosa* et *Avena sativa*) au nord du Vietnam : une solution pour résoudre le déficit fourrager en hiver.

[25]- P. Zwer (2010) Oats: characteristics and quality requirements.

[26]- Mushtaq Ahmad et al (2014) review on Oat (*Avena sativa* L.) as a dual-purpose crop.

[27]- Seema Sangwan (2014) Nutritional and functional properties of oats: An update

[28]- mémoire fin d'étude : étude de la fertilisation azotée du blé dur dans deux zones Céréalières d'Algérie.

[29]- Oats: characteristics and quality requirements P. Zwer, South Australian Research & Development Institute (SARDI), Australi.

[30]- thèse : Étude et fonctionnalisation de protéines végétales en vue de leur application en microencapsulation.

[31]- Jean-Louis Cuq(2018) Les protéines végétales alternatives aux protéines animales. Comment accroître leur niveau de qualité.

[32]- Christina Klose (2012) Proteins in Oats; their Synthesis and Changes during Germination: A Review.

[33]- Jacques Guéguen et al, (15 janvier 2015), Les protéines végétales : contexte et potentiels en alimentation humaine

[34]- O.E. Mañkinen et al VTT Technical Research Centre of Finland, Espoo, Finland Protein From Oat: Structure, Processes, Functionality, and Nutrition.

[35]- Proteins from land plants – Potential resources for human nutrition and food security(2012)

[36]-mémoire fin d'étude : Evaluation de la consommation des compléments alimentaires chez une population des sportifs dans la Wilaya de Tlemcen.

[37]- Evaluation de la consommation des compléments alimentaires chez une population des sportifs dans la Wilaya de Tlemcen.

[38]- mémoire fin d'étude : Contribution à l'étude et au recensement des compléments alimentaires utilisés dans la région de Guelma.

[39]-mémoire fin d'étude : CONSOMMATION DE COMPLEMENT ALIMENTAIRE CHEZ UNE POPULATION SPORTIVES.

[40]- Didier Quilliot et al(2010) Prévention et traitement des carences en vitamines, minéraux et oligo-éléments après chirurgie de l'obésitéPrevention and treatment of vitamin, mineral and trace element deficiencies after bariatric surgery.

[41]- Luc Cynober (2008) Complément alimentaire, alicament, médicament: Qui EST qui? Ou faust revisité.

[42]- Thomas Pilorin (2012) Consommation de compléments alimentaires en France : profil des consommateurs et contribution à l'équilibre nutritionnelConsumption of food supplements in France: Consumers' profile and contribution to nutritional balance.

[43]- These: Optimisation de la pH-sensibilité de protéines végétales en vue d'améliorer leurs capacités d'encapsulation de Principes actifs destinés à la voie orale.

[44]- David Lafargue (2007) Etude et élaboration de films à base de polysaccharides pour la fabrication de gélules pharmaceutiques.

[45]-thèse : Validation d'une méthode de fabrication de gélules

[46]- Anne Rasmussen (2004), Les enjeux d'une histoire des formes pharmaceutiques : La galénique, l'officine et l'industrie (XIXe – début XXe siècle)

[47]- Alexander Prosekov et al (August 2018) Functional properties of the enzyme-modified protein from oat bran Author links open overlay panel

[48] - A. Aumaitre et al (1996), VALEUR ALIMENTAIRE DU MANIOC ET DE DIFFÉRENTES CÉRÉALES DANS LES RÉGIMES DE SEVRAGE PRÉCOCE DU PORCELET : UTILISATION DIGESTIVE DE L'ALIMENT ET EFFET SUR LA CROISSANCE DES ANIMAUX

[49]- mémoire fin d'étude : Elaboration d'un réseau de polymère acrylique par photo polymérisation UV : caractérisation par spectroscopie infrarouge, et suivi de la cinétique de gonflement dans des solvants.

[50]- thèse de doctorat : Synthèse prébiotique de RIB nucléotides sur des surfaces minérales
Mariame Akouche.

[51]- mémoire fin d'étude : Valorisation des déchets agroalimentaires (cas des coquilles de noix et grains d'olives).

[52]- article scientifique : (Hernández et al. 1995).

[53]- laboratoire de biochimie d'ISTA Blida.

[54] Andreas Romulo (2020), The Principle of Some *In vitro* Antioxidant Activity Methods : Review

[55]- mémoire fin d'étude : Elaboration et caractérisation de compléments alimentaires diététiques à base des fibres extraites de deux variétés d'avoine.

[56]- Marcos Almeida Bezerra et al (15 September 2008), Response surface methodology (RSM) as a tool for optimization in analytical chemistry

[57]- CALVEL Raymond Article Les caractéristiques des farines de la campagne 1975-1976. 01/10/1975. Article complet à lire dans le bulletin EFM numéro 269, page(s) 263 271, référence 269/263

[58]- Moule.C ; 1980. Les céréales. Ed. La maison rustique, pp57.

[59]- Sabegh.A et Tsouri,Bentsouri 2006.L'enrichissement des pâtes alimentaires par l'incorporation du son et le suivi du produit pendant 5 mois de conservation mémoire de fin d'étude FSAVB, BLIDA, 225p

[60]- enche M et al., 2011. Anna b. Chambre d'agriculture des pays de loire article publié

[61]- Leinonen et al., 2000 rye bread decreases serum total and LDL cholesterol in men with moderately elevated serum cholesterol. J nutr February; 130(2):164-70.

[62]- Laaksonen, 2005 Dietary carbohydrate modifications enhances insulin secretion in persons with the metabolic syndrome. Am J Clin Nutr December; 82(6):1218-27.

[63]- J. Yun, C. Suyong, L. Mi, G.L. Hyeon, J. Agric. Food Chem. 54 (2006) 3815– 3818.

[64]- J. T. Carstensen (1998), Effect of Moisture on the Stability of Solid Dosage Forms

[65]- Zweers, M.L.T., Grijpma, D.W., Engbers, G.H.M., Feijen, J., Journal of Biomedical Materials research. Part B, Applied Biomaterials, 2003, 66, 559

[66]- Compétitivité territoriale : la recherche d'avantages absolus Roberto Camagni