

RÉPUBLIQUE ALGÉRIENNE DÉMOCRATIQUE ET POPULAIRE
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique



UNIVERSITÉ de BLIDA 1
Faculté de Technologie
Département de Génie des Procédés



Mémoire

En vue de l'obtention du diplôme de

MASTER EN GENIE DES PROCEDES

Spécialité : Pharmacie Industrielle

Intitulé du mémoire

**Elaboration et caractérisation de compléments alimentaires
diététiques à base des fibres extraites de deux variétés d'avoine**

Présenté par :

MEDDOUR Farah

KACI Melina

Dirigé par :

Pr. Hadj Ziane Amel

Mme. BENDJABOU Wafaâ

Année universitaire 2022/2023

Remerciement

Nous tenons à remercier en premier lieu le bon Dieu le tout puissant de nous avoir donné la force, la santé et la volonté pour mener ce travail.

Nous exprimons notre sincère remerciement à notre promotrice Pr. **Amel HADJ-ZIANE** d'avoir bien voulu accepté de diriger ce travail et pour son témoignage et son soutien et de nous avoir guidés et encouragés dans ce travail, et les conseils qu'elle nous a apportés grâce à vous, nous avons beaucoup appris.

Nous tenons à remercier vraiment notre Co-promotrice Mme. **BENDJABOU Wafaâ** pour son soutien et sa confiance lors de cette aventure et d'avoir partagé ses connaissances de manière très pédagogique, nous la remercions aussi pour sa disponibilité et la qualité de son encadrement.

Un remerciement spécial à Mme. **Nabi Ikram**, Mme. **Laribi** Mme. **Rebiha Mounia** pour leurs orientations et aides précieuses durant la réalisation de ce modeste travail.

Nous tenons à remercier tous les membres du laboratoire de GENIE CHIMIQUE pour leur gentillesse, le partage des connaissances scientifiques, leur collaboration, leur joie de vivre qu'ils ont fait rayonner autour de nous.

Nous souhaitons adresser nos remerciements au corps professionnel et administratif de département de génie des procédés pour la qualité et l'enseignement.

Enfin sans oublier de remercier tous ceux qui ont contribué de près ou de loin à la réalisation de ce travail.



Dédicaces

Je dédie ce modeste travail :

A mes chers parents pour tous leurs sacrifices, leur amour, leur tendresse, leur soutien et leurs prières tout au long de mes études aucun hommage ne pourrait être à la hauteur de l'amour dont ils ne cessent de me combler. Que Dieu leur procure bonne santé et longue vie.

*A mon chère frère **ABDELMALEK**, qui m'a toujours soutenu et encouragé.*

*A mes amis **FAROUK, ISMAHANE, HASNA, SARAH** et à mon binôme **FARAH** pour son grand effort et toute la famille **MEDDOUR**.*

*A tous les doctorants du laboratoire **GENIE CHIMIQUE**.*

A toute ma famille pour leur soutien tout au long de mon parcours universitaire, que ce travail soit l'accomplissement de vos vœux tant allégués, et le fruit de votre soutien infailible. Merci d'être toujours là pour moi.



Dédicaces

Par la grâce de Dieu Tout-Puissant, je dédie cet humble travail à toutes les personnes qui m'ont aidé de près ou de loin.

*En particulier mes parents : **FATAH ET FATIHA**. Merci pour votre amour et votre soutien. Merci d'avoir été à l'écoute tout au long de ce travail. Vous m'avez aidé à aller jusqu'au bout, je vous aime tant*

*A mes deux chères sœurs **FELLA, FAIROUZ ET** mon Frère **FAIZ**, Vous êtes si chers à mon cœur que je n'envisage pas ma vie sans vous. Je vous aime de toutes mes forces !!!*

*A mon beau frère **REDOUANE**.*

*A ma meilleure amie **MANEL**, merci d'avoir été une oreille attentive durant les coups de blues.*

*A ma chère cousine **YASMINE** pour leur appui et leur encouragement.*

*A mes cousins **MOAD, ADLEN, AMARA, ZINO***

*A mes chers amis : **KAWTHAR, LYDIA, ISMAHANE, FAROUK, HAMZA, HADIL** et toute la promo de phi.*

*Sans oublier mon binôme **MELINA** pour son grand effort, et toute la famille **KACI**.*

*A tous les doctorants du laboratoire **GÉNIE CHIMIQUE**, puissions-nous accomplir de grandes choses.*

A Tous ceux qui ont contribué à mon bonheur.

FARAH

ملخص

الهدف من دراستنا هو صياغة مشروب غذائي يعتمد على نوعين من الشوفان الجزائري WW1 78 و Black 912. تم تأكيد معرفة سكاننا بالآثار العلاجية للشوفان من خلال مسح عرقي أجري في وسط البلاد. أظهر التوصيف الفيزيائي الكيميائي للنوعين محتوى عالي من الألياف، بنسبة 10.78٪ لصنف الغربي و 15.94٪ لصنف لكحل.

أكدت تحليلات بيتا جلوكان التي تم الحصول عليها من كلا النوعين بعد الاستخراج صفاتها وتأثيراتها الممتازة على مضادات الأكسدة والبكتيريا، واستخدمت الأخيرة كمواد خام في تركيب المشروب، والتي تم تحسينها من خلال منهجية التصاميم التجريبية من أجل الحصول على مشروب نظام غذائي من الصفات التكنولوجية والحسية المرضية.

تم تحليل اللزوجة والاستقرار في درجات الحرارة المختلفة ودرجة البريكس والأس الهيدروجيني والكثافة والتحليل المجهرى للمشروبات بالإضافة إلى أنشطة التركيبات المضادة للأكسدة والبكتيريا، وتظهر النتائج التي تم الحصول عليها أن المشروب الذي تم الحصول عليه مستقر وذو جودة تكنولوجية جيدة وله نشاط جيد مضاد للأكسدة ومضاد للبكتيريا.

الكلمات الرئيسية :

، بيتا جلوكان، تركيبة، مشروب حمية WW1 78 الشوفان الأسود 912، الشوفان

Summary

The objective of our study is the formulation of a dietary drink based on two varieties of Algerian oats Black 912 and WW1 78. Our population's knowledge of the therapeutic effects of oats was confirmed by an ethnobotanical survey conducted in the centre of the country.

The physico-chemical characterization of the two varieties showed a high fibre content, with a percentage of 10.78% for the Gharbi variety and 15.94% for the Lakhal variety.

The analyses of Beta-glucans obtained from both varieties after extraction confirmed their qualities and excellent antioxidant and antibacterial effects, the latter were used as raw materials in the formulation of the drink, the optimisation of which was carried out by the methodology of the experimental designs in order to obtain a diet drink of satisfactory technological and sensory qualities.

Viscosity, stability at different temperatures, Brix degree, pH, density and microscopic analysis of drinks as well as antioxidant and antibacterial activities of formulations were analysed, the results obtained show that the drink obtained is stable, of good technological quality and has a good antioxidant and antibacterial activity.

Keywords:

Black Oats 912, Oats WW1 78, Beta-glucan, formulation, diet drink.

Résumé

L'objectif de notre étude est la formulation d'une boisson diététique à base de deux variétés d'avoines Algériennes Noire 912 et WW1 78. La connaissance des effets thérapeutiques de l'avoine par notre population a été confirmée à l'aide d'une enquête ethnobotanique réalisée au centre du pays.

La caractérisation physico-chimique des deux variétés a montré une teneur importante en fibres, avec un pourcentage de 10,78% pour la variété Gharbi, et de 15,94% pour la variété Lakhal.

Les analyses des Bêta-glucanes obtenus des deux variétés après extraction ont confirmé leurs qualités et leurs excellents effets antioxydants et antibactériens, ces derniers ont été utilisés comme matières premières dans la formulation de la boisson dont l'optimisation a été réalisée par la méthodologie des plans d'expériences de manière à obtenir une boisson diététique de qualités technologique et sensorielle satisfaisantes.

La viscosité, la stabilité à différentes températures, le degré Brix, le pH, la densité et l'analyse microscopique des boissons ainsi que les activités antioxydante et antibactérienne des formulations ont été analysés, les résultats obtenus ont montré que la boisson obtenue est stable, de bonne qualité technologique et présente une bonne activité antioxydante et antibactérienne.

Mots clés :

Avoine Noire 912, avoine WW1 78, Beta-glucane, formulation, boisson diététique.

Liste des figures

Figure I.1 : Avoine vêtue (<i>Avena sativa</i>) gravure sur bois de Léonhart Fuchs, coloriée à la main.....	4
Figure I.2 : Photo d'une plante d' <i>Avena sativa</i>	5
Figure I.3 : Carte schématique représentant les zones céréalières de l'Algérie.....	7
Figure I.4 : La production d'avoine en Algérie entre 1961-2014.....	8
Figure I.5 : composition du grain d'avoine reproduit par la permission de Youngs (1986).....	10
Figure I.6: structure générale des β -glucanes.....	12
Figure II.1 : Structure moléculaire des BG (1-3, 1-4) des céréales.....	15
Figure II.2 : Structure moléculaire des BG (1-3, 1-6) des levures.....	15
Figure II.3 : Modes d'action des BG sur les cellules immunitaires.....	18
Figure II.4 : Illustration de la propriété de barrière potentielle des fibres alimentaires solubles dans l'intestin grêle.....	19
Figure IV.1 : Distributions des pourcentages des enquêtés selon la région et selon le sexe.....	24
Figure IV.2 : Distributions des pourcentages des parts des effectifs des enquêtés selon l'âge.....	25
Figure IV.3 : Distributions des pourcentages des enquêtés selon la connaissance de l'avoine.....	26
Figure IV.4 : Distributions des pourcentages des enquêtés selon l'utilisation de l'avoine.....	26
Figure IV.5 : Distributions des enquêtés selon leurs avis sur l'avoine.....	27
Figure IV.6 : Grains et farines des deux variétés d'avoine (Gharbi et Lakhal).....	36

Figure IV.7 : Principe de fonctionnement du montage à reflux.....	40
Figure IV.8 : Filtration de la poudre après le montage à reflux (photo originale).....	41
Figure IV.9 : Schéma général de l'extraction du Beta-glucane.....	41
Figure IV.10: Réaction d'un antioxydant avec le radical DPPH.....	43
Figure IV.11 : Formulation des 11 boissons.....	48
Figure IV.12 : Les étapes de la formulation de la boisson diététique à base du Beta-glucane de l'avoine.....	49
Figure IV.13 : Refractomètre numérique (photo originale).....	52
Figure IV.14 : Microscope optique (photo originale).....	52
Figure V.1 : Résultats des analyses physico-chimiques des deux variétés d'avoine.....	53
Figure V.2 : Extrait de BG des deux variétés d'avoines.....	55
Figure V.3 : Résultats de rendement d'extractions d'avoine Gharbi et Lakhali.....	56
Figure V.4 : Spectre FTIR d'extrait de Beta-glucane.....	57
Figure V.5 : structure chimique de Beta-glucane.....	57
Figure V.6 : la solubilité du BG dans différente température (photo originale).....	59
Figure V.7 : comparaison de l'activité antiradicale de BG Lakhali et BG Gharbi.....	61
Figure V.8: Pourcentage d'inhibition du radicale libre en fonction des concentrations de BG Lakhali.....	62
Figure V.9: Pourcentage d'inhibition du radicale libre en fonction des concentrations de BG Gharbi.....	62
Figure V.10 : les résultats d'IC50 de BG Lakhali et BG Gharbi.....	63
Figure V.11 : Représentation graphique des valeurs observées en fonction des valeurs estimées de la stabilité.....	65
Figure V.12 : Représentation graphique des valeurs observées en fonction des valeurs estimées de la viscosité.....	65

Figure V.13 : Histogramme de l'influence des coefficients sur la stabilité.....	66
Figure V.14 : Histogramme de l'influence des coefficients sur la viscosité.....	66
Figure V.15 : valeurs de R2 et Q2 en fonction des réponses.....	67
Figure V.16 : Courbe iso-réponse de la stabilité en fonction de la lécithine de soja et de l'amidon.....	68
Figure V.17 : Courbe iso-réponse de la viscosité en fonction de la lécithine de soja et de l'amidon.....	69
Figure V.18 : Norme de référence du potentiel zêta de DLS HORIBA.....	71
Figure V.19 : La variation de la viscosité (η) des deux formulations en fonction de la vitesse de cisaillement γ^* (S-1).....	72
Figure V.20 : La variation de la contrainte de cisaillement (τ) des deux formulations en fonction de la vitesse de cisaillement γ^* (S-1).....	72
Figure V.21 : Images obtenues au microscope optique à Grossissement \times 40 des deux formulations.....	73
Figure V.22 : Bactérie <i>staphylococcus aureus</i>	74
Figure V.23 : Bactérie <i>Escherichia coli</i>	75
Figure V.24 : Bactérie <i>Pseudomonas aeruginosa</i>	75

Liste des tableaux

Tableau I.1: Composition chimique du grain d'avoine.....	11
Tableau I.2: le contenu des minéraux dans l'avoine.....	13
Tableau III.1: Différences entre un médicament et un complément alimentaire.....	22
Tableau IV.1: Description des deux variétés d'avoine étudiées (ITGC, 2018).....	29
Tableau IV.2 : L'appareillage utilisé lors du travail expérimental.....	31
Tableau IV.3 : Les propriétés physico-chimiques de la <i>Stévia rebaudiana</i>	32
Tableau IV.4 : Les propriétés physico-chimiques de la lécithine de soja.....	33
Tableau IV.5 : Les propriétés physico-chimiques de l'acide citrique.....	33
Tableau IV.6 : Les propriétés physico-chimiques de l'amidon de maïs.....	34
Tableau IV.7 : Facteurs étudiés avec leurs niveaux.....	46
Tableau IV.8 : Matrice d'expériences en valeurs codées.....	47
Tableau V.1 : Résultats des analyses physico-chimiques de la farine d'avoine.....	53
Tableau V.2: Résultats de rendement d'extraction d'avoine Gharbi et Lakhali.....	56
Tableau V.3 : identification des pics FTIR du BG Gharbi.....	58
Tableau V.4 : identification des pics FTIR du BG Lakhali.....	58
Tableau V.5 : la solubilité du BG dans différente température.....	59
Tableau V.6 : Les résultats de l'activité antiradicalaire de BG Lakhali et BG Gharbi.....	60
Tableau V.7 : Matrice du plan d'expérience et les réponses enregistrées.....	64
Tableau V.8 : Analyse de la variance.....	67
Tableau V.9: les potentiels zêta des formulations pendant 4 semaines.....	71
Tableau V.10 : résultat de l'activité antibactérienne.....	75

Abréviations

AFNOR : Association française de normalisations.

AMT : Apport maximal tolérable.

ANOVA : Analyse de la variance.

ATCC : American type culture collection.

AVA : Avénanthramide.

BG : Béta-glucane.

BGs : Béta-glucanes.

BG.G : Béta-glucane Gharbi.

BG.L : Béta-glucane Lakhal.

°BX : Degré Brix.

CMI : Concentration minimale inhibitrice.

CR3 : Récepteur du compliment.

DD : Diamètre de zone.

DGCCRF : Direction générale de la concurrence de la consommation et de la répression des fraudes.

DLS : Diffusion dynamique de la lumière.

DPPH : 2, 2-diphényl-1-picrylhydrazyle

F : Fisher.

FDA : Food and drug administration.

FTIR : Spectroscopie infrarouge a transformée de Fourier.

HDL-cholestérol : Hight density lipoprotein.

HMG-CoA réductase : hydroxyméthylglutanyl-CoA réductase.

IC50 : Concentration de l'échantillon donnant 50 % de l'activité du piégeage du radical DPPH.

ITGC : Institut technique des grandes cultures.

LDL-cholestérol : Low density lipoprotein.

MS : Matière sèche.

NF : Factorial plan.

P : Probabilité.

pH : Potentiel hydrogène.

PMG : Poids de mille grains.

Q2 : Coefficient de détermination.

R2 : Coefficient de corrélation.

SAU : Surface agricole utile.

SCFA : Short chain fatty acid.

SNAPO : Syndicat national des pharmaciens d'officines.

TC : Cholestérol total.

TLR-2/6 : Toll like receptors.

Sommaire

RÉSUMÉ

LISTE DES FIGURES

LISTE DES TABLEAUX

ABREVIATIONS

INTRODUCTION.....1

CHAPITRE I : GENERALITES SUR L'AVOINE.....

I. Avoine.....	3
I.1. Histoire.....	3
I.2. Caractéristiques botanique de l'avoine	4
I.3. Classification	5
I.4. Culture de l'avoine.....	6
I.4.1. Production mondiale.....	6
I.4.2. Production en Algérie	6
I.5. Utilisation.....	8
I.5.1. Historique d'utilisation d'avoine.....	8
I.6. Caractéristiques morphologiques et biochimiques	10
I.7. Composition du grain d'avoine.....	11
I.7.1. Macromolécules	11
I.7.2. Micromolécules.....	13

CHAPITRE II : BÉTA-GLUCANE.....

II. Les béta-glucanes.....	14
II.1. Définition.....	14
II.2. Structure des Béta-glucanes.....	14
II.3. L'origine des béta-glucanes.....	16
II.4. Propriétés physicochimiques des béta glucanes.....	16
II.4.1. Viscosité.....	16
II.4.2. Solubilité.....	16
II.4.3. La capacité de rétention d'eau.....	16
II.5. Effets physiologiques des béta glucanes.....	17
II.5.1. Le taux de glycémie	17

II.5.2. Le système immunitaire.....	17
II.5.3. Le taux de cholestérol.....	18

CHAPITRE III : LES COMPLIMENTS ALIMENTAIRE.....

III. Les compliments alimentaires.....	20
III.3. Définition.....	20
III.2. Principes de la complémentation alimentaire.....	20
III.3. Le marché des compléments alimentaires.....	21
III.3.1. Le marché Algérien des compléments alimentaires.....	21
III.3.2. Aspect réglementaires et législatifs des compléments alimentaires.....	22
III.4. Différences entre un médicament et un complément alimentaire.....	22
III.5. Les risques toxicologiques des compléments alimentaires	23

CHAPITRE IV : MATERIEL ET METHODES.....

IV.1. Enquête ethnobotanique.....	24
IV.1.1. Objectif de l'enquête.....	24
IV.1.2. Cadre et méthodologie de l'étude.....	24
IV.1.3. Analyse des données de l'enquête.....	24
IV.1.3.1. Part des participants selon la région et le sexe.....	24
IV.1.3.2. Utilisation Selon l'âge.....	25
IV.1.3.3. Utilisation selon la connaissance de l'avoine.....	25
IV.1.3.4. Selon l'utilisation de l'avoine.....	26
IV.1.3.5. Selon l'avis des consommateurs sur l'avoine.....	27
IV.2. Matériel et Méthodes.....	28
IV.2.2. Matériel.....	28
IV.2.2.1. Matériel biologique.....	28
IV.2.2.2. Appareillage.....	31
IV.2.2.3. Matières premières de la formulation.....	31
IV.2.3. Méthodes expérimentales.....	35
IV.2.3.1. Préparation de la farine à partir des grains de l'avoine.....	35
IV.2.3.2. Analyses physicochimiques de l'avoine.....	36
IV.2.3.3. Extraction du Beta-glucane.....	40
IV.2.3.4. Identification et caractérisation de l'extrait.....	42

IV.2.3.5. Formulation de la boisson.....	45
IV.2.3.6. Caractérisation physico-chimique de la boisson diététique.....	50

CHAPITRE V : RESULTAT ET DISCUSSIONS.....

V. Résultats et discussion.....	53
V.1. Caractéristiques physico-chimiques des deux variétés de l’avoine.....	53
V.1.1. Teneur en eau.....	54
V.1.2. Matière minérale (teneur en cendres).....	54
V.1.3. Teneur en protéines.....	54
V.1.4. Teneur en matière grasse.....	55
V.1.5. Teneur en cellulose brute.....	55
V.2. Le rendement d’extraction..	55
V.3. Identification et caractérisation des extraits.....	57
V.3.1. Identification par infrarouge (FTIR).....	57
V.3.2. La solubilité.....	59
V.3.3. Activité anti-oxydante.....	60
V.3.4. Activité antibactérienne.....	63
V.4. Formulation de la boisson.....	63
V.4.1. Validation du modèle.....	64
V.4.2. Adéquation de modèle.....	64
V.4.3. Facteurs significatifs.....	66
V.4.4. Analyse de la variance.....	67
V.4.5. Modélisation des réponses à l’aide du logiciel Modde 6.....	67
V. 5. Caractérisation de la boisson.....	70
V.5.1. Les paramètres organoleptiques.....	70
V.5.2. Mesure de la densité.....	70
V.5.3. Mesure du PH.....	70
V.5.4. Mesure de la stabilité.....	70
V.5.5. Etude du comportement rhéologique.....	71
V.5.6. Mesure du degré Brix.....	73
V.5.7. Analyse microscopique.....	73
V.5.8. Activité antibactérienne.....	74

CONCLUSION.....77

ANNEXES

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

Introduction générale

Introduction générale

Depuis toujours, les céréales ont constitué une part importante des ressources alimentaires de l'Homme et de l'animal. De plus, la majeure partie de l'alimentation est fournie par les aliments en grain, dont 96% sont produits par les cultures céréalières telles que le blé, l'orge, l'avoine, le seigle, le riz, le maïs et le triticales [1].

Il y a encore quelques années, la consommation traditionnelle d'avoine assurait une bonne exploitation d'alimentation.

L'avoine (*Avena sativa* L.) a une longue histoire de consommation humaine, elle est considérée comme l'une des céréales à grains entiers les plus importants dans l'alimentation; ses grains sont caractérisés par leur richesse en fibres solubles, beta-glucanes, lipides, protéines et antioxydants [2].

Parallèlement, l'industrie des céréales génère de grandes quantités de coproduits, c'est l'avoine qui est cependant, un produit très intéressant. Le son est l'écorce qui recouvre les céréales et l'un des aliments les plus riches en fibres naturelles [3] comme le bêta-glucane, très bon pour la santé.

Les fibres doivent retrouver une place de choix dans nos assiettes. À nous de sensibiliser nos patients et de nous assurer qu'ils adoptent progressivement de nouvelles habitudes alimentaires, afin de bénéficier des atouts naturels des fibres sans crainte des inconvénients. La fibre la plus importante dans l'avoine est le bêta-glucane qui a plusieurs effets sur la santé, rapportés dans la littérature, y compris une activité contre le cancer du côlon, la réduction du taux de glucose postprandial, la réduction du cholestérol sérique et la prévention des maladies coronariennes [4].

Dans le secteur des compléments alimentaires, les tendances du marché développent des produits efficaces et innovants afin d'assurer le respect de la réglementation et identifier les ingrédients apportant un bénéfice recherché.

La conception des compléments alimentaires présente une vision innovante, ainsi pour mieux appréhender les différentes étapes du processus de conception industrielle à base de nutriments, les plantes et autres substances qui analysent l'action, l'efficacité et la sécurité de différents actifs.

Pour la présentation de ce travail, nous avons donc retenu le plan suivant qui est structuré en deux parties :

- Les données bibliographiques sont présentées dans la première partie de ce mémoire, avec une présentation générale de l'avoine en mettant l'accent sur les caractéristiques biochimiques, classification et production suivie par une présentation des bêta-glucanes et leur bienfaits ainsi que le rôle des compléments alimentaires qui sont actuellement tendance dans le marché algérien.
- La partie expérimentale composée de deux chapitres, le premier décrit le matériel utilisé au cours de notre travail et la méthode d'extraction pour la formulation de notre complément alimentaire avec leurs caractérisations, dans le deuxième chapitre montre les principaux résultats obtenus avec discussion.

Grâce à la richesse de l'avoine en fibres alimentaires et ces diverses hypothèses nutritionnelles et thérapeutiques, on a formulé un complément alimentaire enrichi en bêta-glucanes de deux variétés d'avoine Algérienne, et étudié les propriétés physico-chimiques, microbiologiques et organoleptiques de ce produit.

Enfin, cette étude a été achevée par une conclusion générale et des perspectives à envisager pour la continuité et la poursuite dans cet axe de recherche.

Partie théorique

Chapitre I
Généralités sur l'avoine

I. Avoine

I.1. Histoire

L'avoine cultivé ou le genre *Avena* venant du grec "Avea" signifiant "désiré"; parfois appelée « avoine commune », « avoine byzantine » ou simplement « avoine », est originaire du nord-est de l'Europe (Autriche et Russie) et des plateaux de l'Éthiopie et de la Chine.

La plus ancienne avoine cultivée a été découverte dans des grottes en Suisse et daterait de l'époque de l'âge de bronze [5], et en Égypte dans les vestiges de la 12ème Dynastie, autour de 2000 ans avant J.-C., et devait probablement provenir de plantes sauvages, puisque l'avoine n'était pas encore cultivée à cette époque [6].

L'avoine a été introduite en Amérique en 1609 sur les îles Elizabeth, sur les côtes de l'État du Massachusetts et Georges Washington, premier président des États-Unis d'Amérique, en aurait semé 234,71 hectares en 1786 [7].

Le plus ancien écrit sur l'avoine daté dans le 16ème siècle par le botaniste et le médecin allemand Léonhart Fuchs, en 1542 dans son ouvrage «Commentaires sur les histoires des plantes», qui a décrit l'avoine comme suit ; « *l'avoine est un herbier avec dentique au blé au niveau de son feuillage, de son chaume et de ses épillets. Les panicules sortent des gaines foliaires, leurs rameaux s'étalent en tous sens. Le fruit aigu est suspendu seul entre les glumes écartées comme des ailes. Chaque fruit a deux graines, directement adjacentes et légèrement coudées en direction l'une de l'autre. Le tout se présente comme une sauterelle. Les racines sont fasciculées. Lieu de culture: Cultivée partout en Allemagne, l'avoine sert davantage de fourrage aux chevaux qu'à l'alimentation humaine.*» (**Figure I.1**) [5].



Figure I.1 : Avoine vêtue (*Avena sativa*) gravure sur bois de Léonhart Fuchs, coloriée à la main

En Angleterre et dans d'autres parties d'Europe, l'avoine est un aliment principal pour les chevaux et le bétail dans les écrits du XVIIe siècle. En Écosse, au pays de Galles, en Grande-Bretagne et en Irlande, l'avoine était devenue une partie importante du régime alimentaire humain de 1500 à 1700, bien qu'elle ait été principalement utilisée pour l'alimentation des animaux. Lorsque le blé et l'orge ont fait leur apparition dans le marché du continent Européen, la Grande-Bretagne et l'Asie de l'Est, l'avoine et le seigle étaient considérés comme des mauvaises herbes. En effet, la domestication de l'avoine est survenue beaucoup plus tard que celle du blé et de l'orge [8].

I.2. Caractéristiques botaniques de l'avoine

L'avoine est une plante annuelle formant un système racinaire fasciculé relativement puissant dans les dix premiers centimètres du sol, dont la longueur varie entre 50 et 200 cm et développant un tallage important grâce à des racines adventices au niveau des nœuds (**Figure I.2**) [9].

Les tiges sont cylindrique (caulines) de 25 à 150 cm de haut, au port dressé [10].

Les feuilles glabres, longues et effilées font 2 à 8 mm de large et engainent les tiges. Elles présentent une ligule blanche de 2 à 5 mm sans oreillettes au niveau de leur insertion sur la tige [11].

Les inflorescences sont des panicules lâches. Elles mesurent 8 à 30 cm de long, portant des épillets de deux à trois fleurs.

Les fleurs sont disposées en épillets de 16 à 24 mm de long avec des pédoncules barbus. Les glumelles supérieures et inférieures les entourent, d'abord partiellement dissimulées par les glumelles supérieures et inférieures de l'inflorescence. Ces épis ne sont pas denses. Le carpelle porte directement les stigmates et la fleur à trois étamines. [9].

Le fruit ou grain est un caryopse entouré de glumelle non adhérente mais restant fermé [12]



Figure I.2: Photo d'une plante d'*Avena sativa*.

I.3. Classification

Selon Feillet (2000) l'avoine est une plante annuelle herbacée monocotylédone [13]:

- 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*

I.4. Culture de l'avoine

I.4.1. Production mondiale

La production mondiale d'avoine représente près de 800 kilogrammes par seconde, soit 25 millions de tonnes par an cultivée sur 10,6 millions d'hectares. La Russie et le Canada sont les deux premiers producteurs d'avoine après l'Union européenne. Cependant, ces deux derniers dépendent principalement de leur production. La campagne 2011-2012 a eu lieu. [14].

Globalement, la production annuelle est très inférieure à celles de blé, de maïs, ou même d'orge [15].

Dans les 50 dernières années, la production mondiale d'avoine a beaucoup diminué, passant de 50 millions de tonnes dans les années 1960 à 20 millions de tonnes en 2010. L'avoine a cessé d'être l'aliment de choix pour animaux, maintenant remplacée par le maïs et l'orge.

Les plus grands producteurs d'avoine au monde sont les pays à climat froid et à culture extensive. Le Canada est le premier exportateur mondial avec 2,1 millions de tonnes, tant dit que les états unis le plus grand importateur [16].

I.4.2. Production en Algérie

La culture des céréales a été, et restera l'élément essentiel de l'agriculture algérienne. Une superficie de 2 448 200 hectares lui est consacrée. Les céréales constituent la composante principale des productions végétales en Algérie, elles couvrent près de 80% de la surface agricole utile (SAU) et intéressent la presque totalité des exploitations agricoles.

La superficie céréalière nationale se situe dans ses deux tiers à l'intérieur du pays [17], pratiquement dans toutes les régions des hauts plateaux situées dans les zones semi-arides et subhumides (isohyète 300 à 450 mm) et des grandes plaines intérieures littorales et sub-littorales (isohyète 450 à 600 mm/an) (**Figure I.3**).

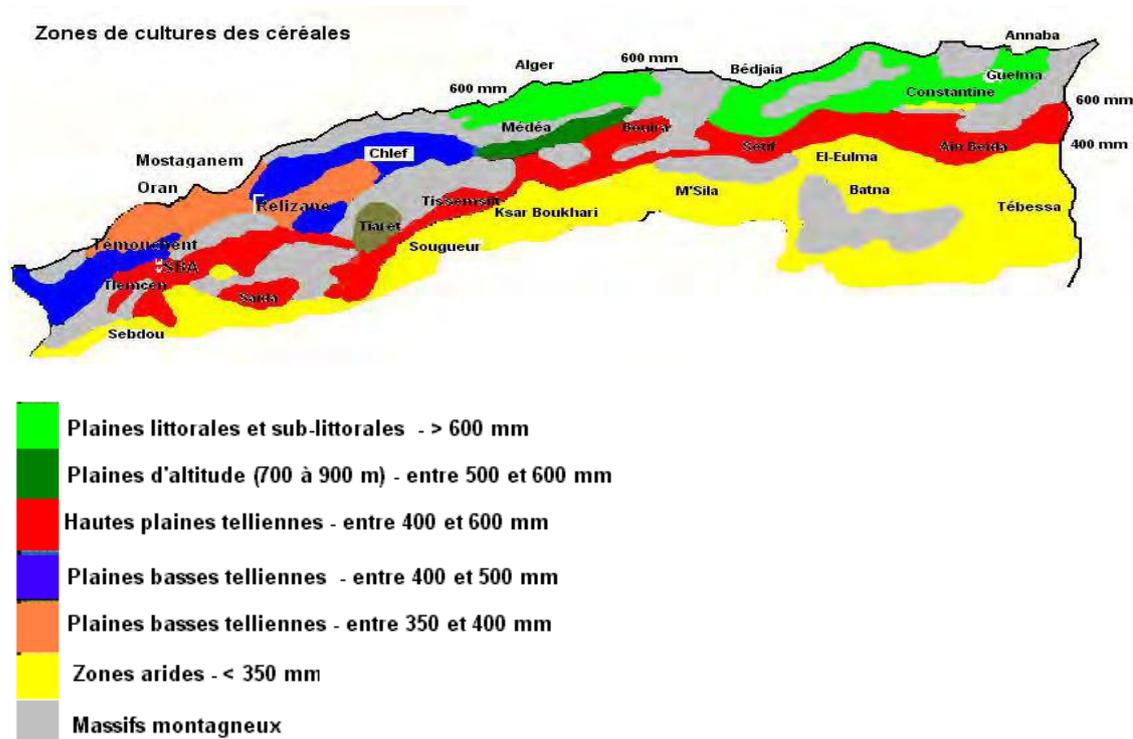


Figure I.3: Carte schématique représentant les zones céréalières de l'Algérie [17]

En Algérie, l'avoine occupe la quatrième place avec une superficie moyenne de l'ordre de 81201 ha après le blé dur qui occupe une superficie moyenne de 1599294 ha ce qui est une surface considérable par rapport aux autres céréales et à la surface destinée à la culture des céréales [18]. La production d'avoine entre 2017-2018 d'avoine est de 1174479 q. Le rendement moyen de l'avoine est de 15,23q/ ha entre 2017_2018.

Pour l'ensemble de la période 1961-2014, une moyenne annuelle de 59 644,07 T a été enregistrée. Le changement enregistré entre la première et la dernière année est de 144 %.

C'est en 1991 qu'on enregistre la valeur la plus élevée (128 142T), tandis que la valeur la plus basse a été enregistrée en 1966 (6 521T). Sur la base des données disponibles, on peut estimer qu'en 2025 la valeur devrait osciller autour de 58 138 T (**Figure I.4**) [14].

Production alimentaire: avoine (tonnes), Algérie

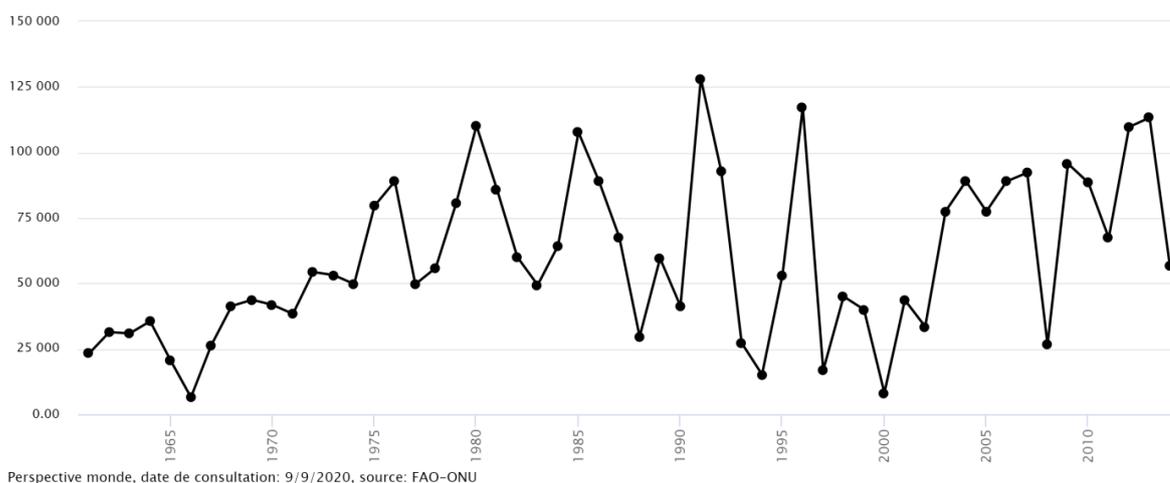


Figure I.4: La production d'avoine en Algérie entre 1961-2014 [14]

I.5. Utilisation

I.5.1. Historique d'utilisation d'avoine

L'avoine est utilisée à des fins de soins personnels depuis l'antiquité. En effet, la folle avoine (*Avena sativa*) était utilisée dans les soins de la peau en Égypte et dans la péninsule arabique en 2000 avant JC. Les bains d'avoine étaient un traitement courant de l'insomnie, de l'anxiété et des maladies de la peau telles que l'eczéma et les brûlures. À l'époque romaine, son utilisation comme médicament pour les problèmes dermatologiques a été signalée par Pline, Columella et Theophrastus [19]. Au XIXe siècle, les bains d'avoine étaient souvent utilisés pour traiter de nombreuses affections cutanées, en particulier les éruptions inflammatoires prurigineuses. Dans les années 1930, la littérature a fourni des preuves supplémentaires de l'action nettoyante de l'avoine ainsi que de sa capacité à soulager les démangeaisons et à protéger la peau.

I.5.1.1. Utilisations alimentaires

L'avoine est un aliment très digeste, aux qualités nutritionnelles reconnues. Elle est consommée sous forme de bouillie, de porridge chez les Anglo-Saxons, de potages ou de boissons. Cette céréale peut également convenir à l'alimentation des bébés.

Le grain, peut être utilisé en alimentation animale, mais il est moins appétits que le blé. À cause de son "pouvoir excitant" (dont l'origine n'est pas établie), l'avoine en grains était autrefois très utilisée pour l'alimentation des chevaux. Elle est toujours utilisée pour

les chevaux sportifs. Malgré cela, sa valeur énergétique est beaucoup inférieure à celle du blé ou de l'orge. [20]

I.5.1.2. Utilisations pharmaceutiques

L'avoine est utilisée pour diminuer et contrôler le taux de glucose dans le sang des diabétiques et permet une réduction du cholestérol. Cette céréale est considérée comme hypoallergénique employées contre divers problèmes de peaux, tels que les dermatoses, l'eczéma, les coups de soleil, les démangeaisons ou encore la varicelle. De plus, les composés phénoliques contenus dans l'avoine, notamment les avénanthramides, présentent un fort potentiel antioxydant et anti-inflammatoire.

L'avoine aide les dépressions légères et l'insomnie en tonifiant le système nerveux. (Action sédative). Paradoxalement, la présence d'une protéine, l'avénine, lui vaut des vertus toniques appréciées dans les états d'épuisements physiques et d'asthénie neuromusculaire.

L'avoine permet également de traiter l'hypertension, la goutte et les rhumatismes.

Grâce à son efficacité diurétique, elle soulage les troubles rénaux. Elle est employée comme anti-diarrhéique et contre les troubles hépatiques [21].

I.5.1.3. Utilisations cosmétiques

Grâce à sa composition riche en amidon et en lipides, l'avoine possède des qualités hydratantes, restructurantes et émoullientes idéales dans des produits de soin pour peaux sensibles et réactives ou pour les mains. Elle est aussi conseillée dans des produits après-soleil.

Il a des propriétés nourrissantes et régénérantes grâce à son contenu en protéines et acides aminés. Il peut être utilisé dans les soins pour peaux matures ou les shampooings destinés aux cheveux secs. Cette composition confère en outre à l'avoine des caractéristiques lissantes pouvant être utilisées dans des produits tenseurs pour la peau et des soins coiffants pour les cheveux.

Par ailleurs, les nombreux minéraux qu'elle contient lui octroient des propriétés reminéralisantes idéales pour les peaux ternes et fatiguées.

Contenant des saponines, et des propriétés nettoyantes et purifiantes, l'avoine peut entrer dans la composition de produits pour le bain et la douche, ainsi que dans des crèmes destinées aux peaux grasses [21].

I.6. Caractéristiques morphologiques et biochimiques

Le grain d'avoine est chimiquement et structurellement différent des autres grains céréaliers, bien que le riz, le maïs, l'orge et l'avoine aient des tissus et des processus physiologiques similaires. Le blé, l'orge, et le maïs ont des granules d'amidon simples par rapport à l'amidon d'avoine qui a des granules composées. L'avoine contient du bêta-glucane qui possède des viscosités en solution qui dépassent les autres hydro-colloïdes biologiques ce qui entraîne certains des avantages pour la santé.

Les coques étroitement attachées au gruau sont sèches et cassantes à la maturité physiologique et contribuent entre 25 et 35 % du poids total du grain. La coque est riche en fibres alimentaires composées de cellulose et d'hémicellulose et n'est pas facilement digérée par les non-ruminants. Une fois que les coques sont retirées du grain pour la transformation des aliments, le gruau est long et étroit et possède des poils ou des trichomes abondants. Les fractions commerciales d'un gruau sont séparées en son germe ou embryon et endosperme féculent. Le plus important c'est que l'endosperme amylicé représente 80% du poids sec du gruau et contient les principales réserves d'amidon, de protéines, de lipides, et de bêta-glucane [22] (Figure I.5).

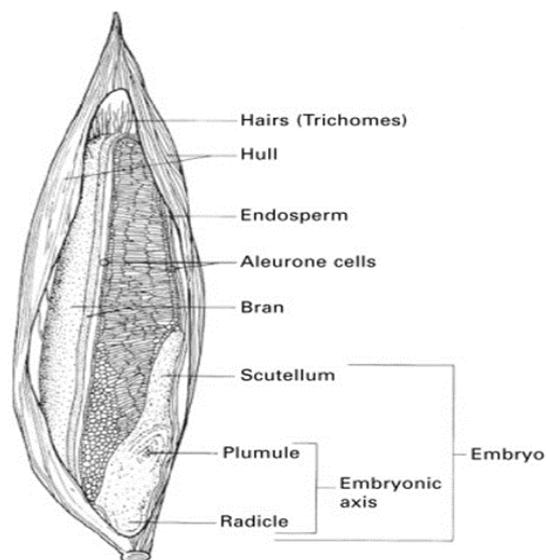


Figure I.5 : composition du grain d'avoine reproduit par la permission de Youngs (1986).

I.7. Composition du grain d'avoine

I.7.1. Macromolécules

La composition chimique du grain d'avoine est représentée dans le **tableau I.1**

Tableau I.1: Composition chimique du grain d'avoine [23].

Composants	Valeur moyenne %	Intervalle %
Amidon	51.1	44 -61
Protéines	15.2	11 -20
Humidité	10.0	9 -14
Fibres	8.9	7 -11
Lipides	7.6	5 -10
Bêta-Glucane	4.2	2.2 -6.6
Libres	1.1	0.9 -1.3

Les principaux composants sont :

- **Les protéines** : L'albumine, la globuline, la prolamine et la glutéline sont les quatre principales protéines du grain d'avoine, qui diffèrent de celles des autres céréales en termes de concentration. L'albumine et la globuline sont les principales protéines de stockage de l'avoine qui ont le plus haut équilibre des acides aminés essentiels pour le corps humain et spécialement riches en Lysine, tandis que la prolamine est la moins concentrée [24]. Des études récentes ont démontré que l'avoine peut être tolérée par la plupart des personnes souffrant de la maladie cœliaque [23].
- **Les lipides** : sont principalement stockés dans l'endosperme et se caractérisent par la teneur (> 80%) en acides gras insaturés. Ces lipides confèrent la stabilité et la longévité, et ne sont pas seulement impliqués dans les propriétés de la saveur et le collage du grain d'avoine mais déterminent également sa teneur énergétique et ses qualités nutritionnelles [25]. L'avoine est particulièrement riche en acides gras insaturés comme l'oléique (C 18: 1) et acide linoléique (C 18: 2), comptant pour environ 40 et 36% du total de l'huile contenue [26]. La teneur élevée en huile et en fibres induit une sensation durable de

satiété qui aide à perdre du poids tandis que les niveaux les plus élevés d'acide insaturé et les faibles quantités de graisses saturées peuvent réduire le risque de maladies cardiovasculaires [23].

- **Les fibres** : sont des polysaccharides non amylacés et parmi lesquels un constituant propre à l'avoine qui est le ***β-glucane***; c'est des polysaccharides non amylacés formés par des glucoses reliés par des liaisons β (1-3) - (1-4) situés dans les parois cellulaires de l'endosperme et de l'aleurone [27] (**Figure I.6**).

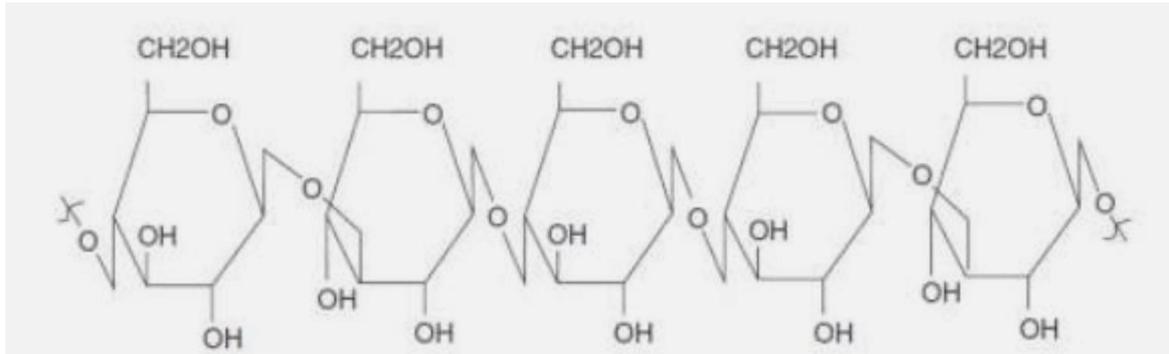


Figure I.6: structure générale des β -glucanes.

Les ***β-glucanes*** améliorent la dégradation des aliments en retardant la vidange de l'estomac avec un effet amortisseur sur l'oscillation du glucose dans l'intestin grêle et le sang provoquant un effet hypocholestérolémiant et améliorant l'équilibre de la microflore intestinale [28.29]. Ils modèrent la glycémie et réponse de l'insuline. En raison de sa viscosité, l'absorption du glucose et des stérols retarde la contribution à une atténuation des taux plasmatiques de glucose et d'insuline postprandiaux [27].

- **L'amidon** : l'amidon constitue environ 60% du grain d'avoine. C'est principalement un constituant de l'endosperme. On observe une différence considérable entre les propriétés physicochimiques de l'amidon d'avoine et d'autres amidons de céréales. L'amidon d'avoine offre des propriétés atypiques telles que la petite taille des granules la surface des granules bien développées et la teneur élevée en lipides.

I.7.2. Micromolécules

- **Les composants antioxydants** : L'avoine contient également une gamme variée de composés phénoliques, y compris ceux liés à un ester conjugués de glycérol, conjugués d'alkyle à liaison ester, glycérides à liaison éther et ester, acides anthraniliques et avenanthramides (AVA) [30].

L'avoine est une source importante de composants antioxydants tels que les tocols, les acides phénoliques et avenanthramides [31]. Les tocophérols, les tocotriénols et la vitamine E sont les principaux tocols présents dans l'avoine et leur concentration dépend de l'emplacement et du génotype [32].

- **Les vitamines :** Les produits à base d'avoine apportent des vitamines à l'alimentation humaine. Comparativement aux autres céréales comme la Vitamine B1, le son et le gruau d'avoine sont de bonnes sources de vitamine B1. Appelée aussi thiamine, la vitamine B1 fait partie d'un coenzyme nécessaire à la production d'énergie principalement à partir des glucides que nous ingérons.
- **Les minéraux :** La teneur en minéraux de l'avoine est généralement de 2 à 3 % (tableau I.2), l'avoine est riche en magnésium, sélénium, phosphore qui favorisent l'endormissement et préviennent le stress, l'iode indispensable au bon fonctionnement de la thyroïde [33].

Tableau I.2: le contenu des minéraux dans l'avoine

Oligo-élément	Avoine %
Manganèse	5
Cuivre	0,4
Fer	7
Magnésium	140
Calcium	95
Potassium	460
Phosphate	340

Chapitre II
Béta-glucane

II. Les Bêta-glucanes

II.1. Définition

Les Bêta-glucanes (BG) sont des polysaccharides non amylacés de monomères de D-glucose liés par des liaisons β -glycosidiques linéaires et/ou ramifiées. Elles présentent une source de fibres alimentaires précieuses qui se trouvent dans les grains des céréales telles que l'orge et l'avoine et dans les parois cellulaires des levures, des champignons, des algues et certaines bactéries [34].

Plusieurs effets des BG sur la santé sont rapportés dans la littérature, y compris une activité contre le cancer du côlon, la réduction du taux de glucose postprandial, la réduction du cholestérol sérique et la prévention des maladies coronariennes [35].

II.2. Structure des Bêta-glucanes

Les BGs chimiquement sont des homopolysaccharides avec des unités de glucoses répétées, ces unités de glucose peuvent se ramifier de plusieurs façons selon la source à partir de laquelle elle est extraite [36].

Ils sont synthétisés par la polymérisation des monomères β -D-glucopyranosyle par le premier carbone d'un monomère avec le troisième, quatrième ou sixième carbone d'un autre. Les BGs provenant de dérivés de céréales se composent d'un squelette de molécules de glucopyranosyle reliées par des liaisons β (1-3), à partir de ce squelette, des chaînes latérales sont jointes avec des liaisons β (1-4), avec un degré de polymérisation entre 300 et 1850 résidus [37] (**figure II.1**). Alors que les BGs provenant de levures et de champignons se composent des liaisons β (1-3) et β (1-6) [38] (**figure II.2**). Cependant, les BG bactériens sont non ramifiés, se composent seulement de liaisons β (1-3). Ces différences structurales sont reflétées dans les différences dans leur fonctionnalité [39].

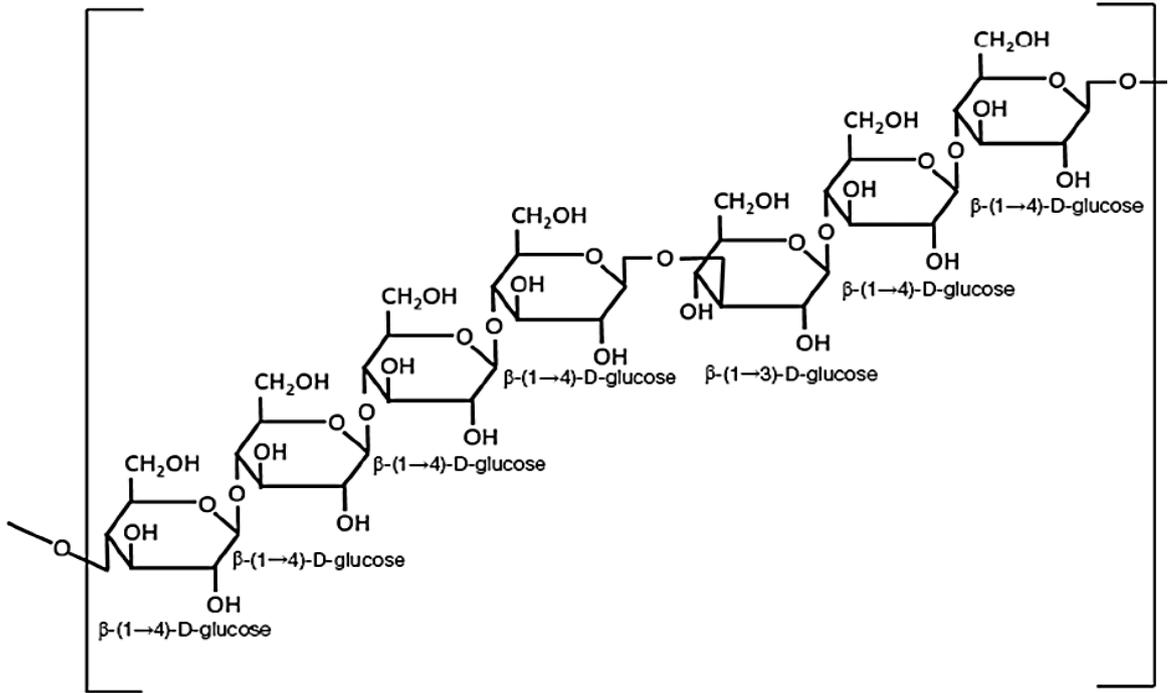


Figure II.1: Structure moléculaire des BG (1-3, 1-4) des céréales [40].

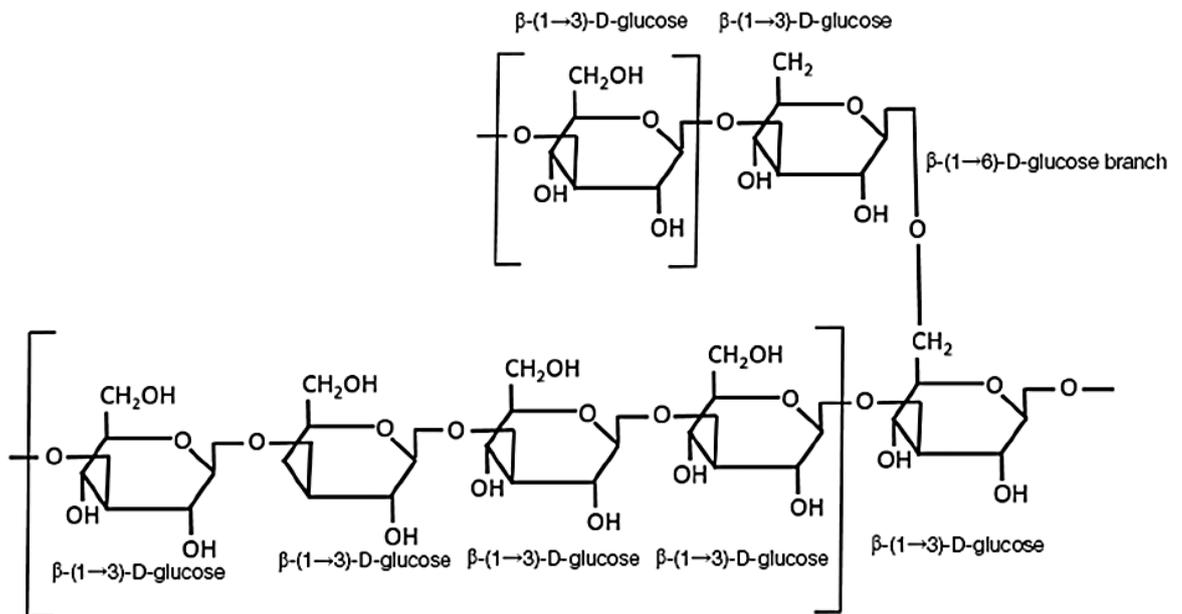


Figure II.2: Structure moléculaire des BG (1-3, 1-6) des levures [40].

II.3. L'origine des bêta-glucanes

Les BGs proviennent d'une variété de sources. Les principales sources de cet ingrédient fonctionnel proviennent de céréales, en particulier de l'avoine et de l'orge, qui présentent une teneur élevée en BG ; l'orge (2 à 11%) et l'avoine (2 à 7,5%), tandis que pour le blé et le seigle les BGs constituent de (0,5 à 1%) et (1,4 à 2,6%) respectivement [41].

II.4. Propriétés physicochimiques des bêta glucanes

II.4.1. Viscosité

La viscosité est une propriété physico-chimique associée aux fibres alimentaires, en particulier les fibres alimentaires solubles. Les fibres alimentaires visqueuses s'épaississent ou forment des gels lorsqu'elles sont mélangées avec des liquides résultant d'une intrication physique entre les molécules de polysaccharides dans le liquide ou la solution [42].

La viscosité des BGs dépend de plusieurs facteurs dans les solutions. Ces facteurs comprennent le taux de cisaillement, la température, l'humidité, le temps, le poids moléculaire, la composition et la structure chimiques, et les conditions acides et alcalines.

Les BGs de poids moléculaire élevé forment des solutions visqueuses, alors que les BGs de poids moléculaire inférieur peuvent former des gels doux à des concentrations plus élevées [43].

II.4.2. Solubilité

La solubilité est le principal facteur dans les propriétés nutritionnelles du BG, les BGs sont généralement hydratés dans l'eau, leur structure irrégulière empêche la formation de structures cristallines ordonnées, de sorte que ces polysaccharides ont tendance à être solubles dans l'eau [44].

II.4.3. La capacité de rétention d'eau

Les BGs ont une grande capacité de retenue d'eau, les polysaccharides sont des molécules hydrophiles, ils ont de nombreux groupes hydroxyle, qui peuvent former des liaisons hydrogène avec de l'eau, l'eau est maintenue dans la matrice polysaccharide, incapable d'écouler, ce qui entraîne la formation d'un gel [45].

II.5. Effets physiologiques des bêta glucanes

II.5.1. Le taux de glycémie

Les BGs ont été utilisés dans plusieurs essais cliniques pour réduire le taux de glucose dans le sang. Plusieurs auteurs ont montré que les BGs forment une solution visqueuse dans l'intestin qui protège la muqueuse intestinale et prolonge la digestion des macronutriments en retardant la vidange gastrique et ralentissant le transport/mélange des enzymes digestives [46]. La conséquence directe est que l'absorption de glucose et d'autres macronutriments est réduite [47]. Et par conséquent, un ralentissement de la montée de la glycémie et l'amélioration de l'insulinémie. Ces changements réduisent aussi la sensation de faim causée par une diminution rapide de la glycémie. Ainsi, les BGs peuvent diminuer l'appétit et réduire la prise de nourriture [48].

II.5.2. Le système immunitaire

Les BGs sont reconnus par le système immunitaire inné. Cette reconnaissance joue un rôle important dans la défense de l'hôte et présente des possibilités spécifiques de modulation clinique de la réponse immunitaire de l'hôte. Les neutrophiles, les macrophages et les cellules dendritiques, entre autres, expriment plusieurs récepteurs capables de reconnaître le BG sous ses différentes formes. Les Bêta glucanes sont reconnus par plusieurs récepteurs du système immunitaire, dont le récepteur du complément (CR3), les Toll Like Receptors (TLR-2/6) et plus particulièrement la dectine-1, ce récepteur clé des BGs traduit la reconnaissance en signalisation intracellulaire [49] (**figure II.3**), stimule les réponses cellulaires et participe à l'orchestration de la réponse immunitaire adaptative (la phagocytose, la production de facteurs pro-inflammatoires) et entraîne l'élimination d'agents infectieux [50].

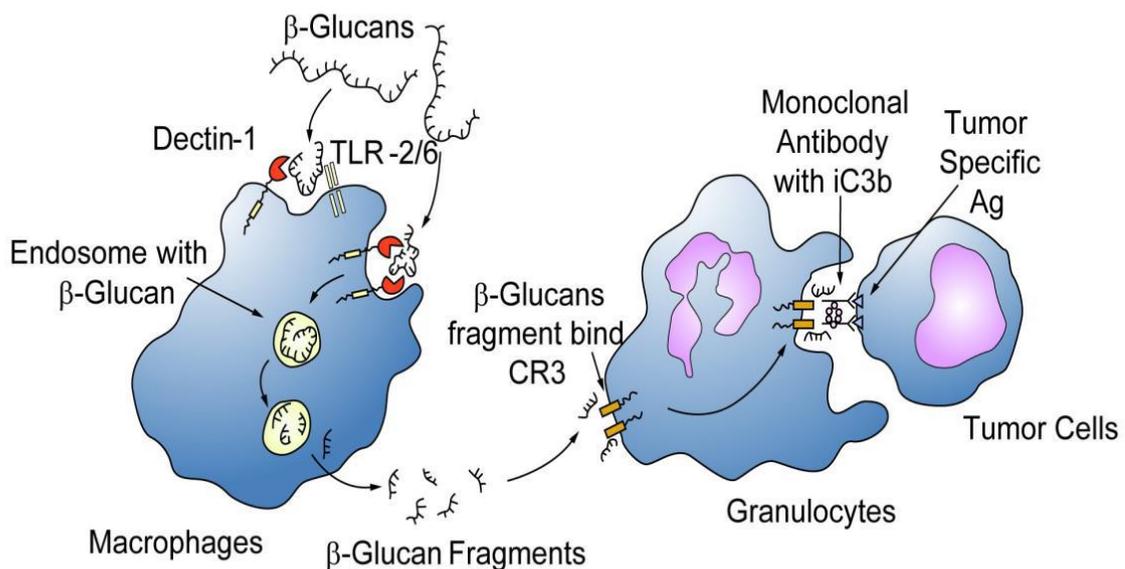


Figure II.3: Modes d'action des BG sur les cellules immunitaires [51].

II.5.3. Le taux de cholestérol

Les taux élevés de cholestérol et des lipoprotéines de faible densité (LDL) sont considérés comme des facteurs de risque majeurs pour les maladies cardiovasculaires. Il a été montré que les BGs peuvent diminuer le cholestérol total, les triglycérides et le *Low Density Lipoprotein* (LDL-cholestérol) et augmenter le *Hight Density Lipoprotein* (HDL-cholestérol) pour atténuer éventuellement la dyslipidémie et réduire le risque des maladies cardio-vasculaires. Les BGs peuvent également abaisser les niveaux du cholestérol total (TC) et de LDL-cholestérol grâce à des effets sur la glycémie postprandiale [52].

Le mécanisme de l'action hypocholestérolémiante des BGs et les facteurs influençant ce mécanisme ne sont pas encore complètement établis. Deux mécanismes d'action possibles proposés sont résumés :

➤ Les BGs forment une couche visqueuse dans l'intestin grêle. La couche visqueuse atténue l'absorption intestinale du cholestérol alimentaire ainsi que la réabsorption des acides biliaires (**figure II.4**). En réponse, le corps s'appuie sur le cholestérol circulant pour produire de nouveaux acides biliaires entraînant ainsi une réduction des taux de cholestérol dans le sang [53]. Il est possible que la réduction des taux d'insuline puisse entraîner une diminution de la synthèse du cholestérol [54].

➤ Des études ont montré que les BG entraînent une augmentation des acides gras à chaîne courte (SCFA) tels que l'acétate, le propionate et le butyrate, produits de leur fermentation bactérienne dans le colon. Ces SCFA, en particulier le propionate, peuvent aussi entraîner indirectement une diminution du taux de cholestérol sanguin par l'inhibition de la hydroxyméthylglutaryl-CoA réductase (HMG-CoA réductase) [55].

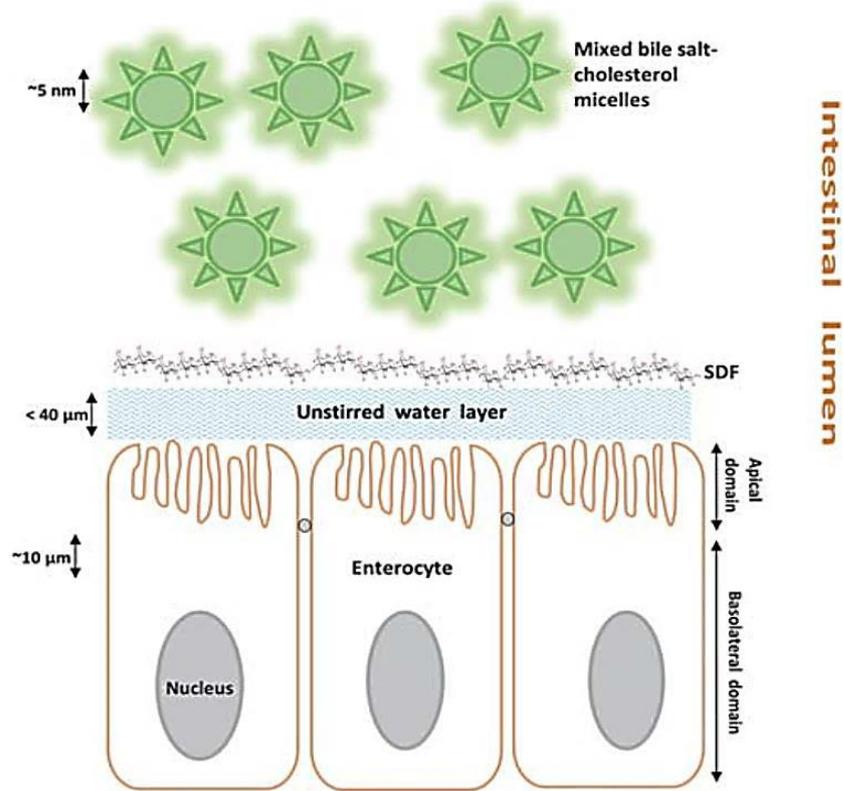


Figure II.4: Illustration de la propriété de barrière potentielle des fibres alimentaires solubles dans l'intestin grêle [56].

Chapitre III

Les compliments alimentaires

III. Les compléments alimentaires

III.3. Définition

Les compléments alimentaires sont définis, comme « *les denrées alimentaires dont le but est de compléter le régime alimentaire normal et qui constituent une source concentrée de nutriments ou d'autres substances ayant un effet nutritionnel ou physiologique seuls ou combinés...* » [57].

On reste dans le cadre de l'alimentation par le terme nutritionnel, mais ce principe d'effet physiologique caractérise cette catégorie des compléments alimentaires à l'inverse des médicaments qui ont une action pharmacologique. En effet, un produit qui entretient des fonctions physiologiques normales par un effet nutritionnel est dit à effet physiologique, contrairement à un produit qui corrige des dysfonctions physiologiques, c'est-à-dire des pathologies, qui est dit à effet pharmacologique ou thérapeutique. Les compléments alimentaires maintiennent un état d'équilibre ou d'homéostasie alors, que le médicament le restaure [58].

Les compléments alimentaires contiennent des ingrédients naturels comme les plantes médicinales, vitamines et minéraux, produits de la ruche, probiotiques, huiles essentielles...

III.2. Principes de la complémentation alimentaire

L'impact de l'alimentation sur la santé et la mortalité (cancer, maladies cardiovasculaires, etc.) fait l'objet de nombreuses recherches depuis de nombreuses années. L'attention portée à l'équilibre alimentaire est devenue un facteur important dans le choix des aliments. Parce que les plantes ne contiennent pas de vitamine B12, les végétariens doivent prendre des suppléments ou manger des aliments enrichis pour assurer un apport adéquat.

Les nourrissons et les enfants ont besoin de vitamine D, qui devrait idéalement être apportée par l'alimentation, mais est généralement prise comme complément alimentaire en raison de sa faible disponibilité dans les rations nutritionnelles quotidiennes. De même, les besoins en fer des femmes sont supérieurs de 77 % à ceux des hommes, dès la puberté (perte due aux menstruations ou à l'accouchement), et les besoins en calcium pendant la ménopause (pour éviter l'ostéoporose, conséquence des changements hormonaux). Les aliments contiendront des quantités variables de vitamine D, de fer ou de calcium. Par

conséquent, seule une alimentation équilibrée qui combine des aliments avec différents types nutritionnels peut assurer l'apport d'éléments essentiels au corps humain [59].

III.3. Le marché des compléments alimentaires

La santé par l'alimentation, confrontée à de colossaux enjeux de santé publique, est une préoccupation majeure pour les consommateurs. Le marché de la nutrition-santé (ou des aliments-santé) continue à se développer, notamment grâce au vieillissement de la population et à la prise de conscience de plus en plus importante du lien entre la santé et l'alimentation [60].

Les compléments alimentaires sont vendus dans les pharmacies, les grandes surfaces, les magasins de diététique, mais également sur des sites Internet. La provenance, l'authenticité et la qualité des compléments alimentaires proposés sur certains sites de vente en ligne ne sont pas garanties. Certains peuvent donc comporter des substances interdites par la législation et potentiellement dangereuses pour la santé. Les autorités sanitaires appellent donc les utilisateurs à faire preuve de la plus grande vigilance avant l'achat et l'utilisation de ces produits et recommandent de prendre conseil auprès d'un professionnel de santé [61].

III.3.1. Le marché Algérien des compléments alimentaires

Le marché des compléments alimentaires est en nette progression dans le monde et en Algérie, où il évolue sans aucun contrôle ni réglementation. Classés dans les denrées alimentaires par le ministère du Commerce, les compléments alimentaires méritent, selon les spécialistes, d'être réglementés. Justement, des discussions sont actuellement en cours pour la mise en place d'un cadre réglementaire régissant la commercialisation, la fabrication, l'étiquetage...etc. Des réunions interministérielles regroupant le ministère de l'Enseignement supérieur et de la Recherche scientifique, le ministère du Commerce, le ministère de l'Agriculture et le ministère de la Santé de la Population et de la Réforme hospitalière ont été prévues pour entériner le socle réglementaire régissant les compléments alimentaires. Ainsi que les travaux de la journée organisée par le Syndicat des pharmaciens d'officines (SNAPO), ayant pour thème « compléments alimentaires et aspects réglementaires » ; les différents intervenants ont ainsi insisté sur le renforcement des textes réglementaires et qu'il est très important de fixer des normes pour les ingrédients pouvant être utilisés dans les compléments alimentaires et surtout pour les produits connus

toxiques. L'harmonisation des valeurs nutritionnelles, selon les régions du monde, doit être discutée. On ne peut pas imposer la même supplémentation pour un Finlandais et un Méditerranéen [62].

III.3.2. Aspect réglementaires et législatifs des compléments alimentaires

Selon la réglementation algérienne du décret 12-214 relatif aux compléments alimentaires qui sont des sources concentrées de ces éléments nutritifs, seuls ou en combinaison, commercialisées sous forme de gélules, comprimés, poudre ou solution. Ils ne sont pas ingérés sous la forme de produits alimentaires habituels mais sont ingérés en petite quantité et dont l'objectif est de suppléer la carence du régime alimentaire habituel en vitamines et/ou sels minéraux. [63].

	Médicament	Complément alimentaire
Objectifs	Soigner ou prévenir une maladie, une pathologie	Entretenir le bien être
Cibles	Personnes malades ou susceptibles de l'être	Personnes en bonne santé souhaitent le rester
Propriétés	Thérapeutiques	Notionnelles ou physiologiques
Mise sur le marché	Autorisation de mise sur le marché	Déclaration à la direction générale de la concurrence, de la consommation et de la répression des Fraudes(DGCCRF)

III.4. Différences entre un médicament et un complément alimentaire

Tableau III.1: Différences entre un médicament et un complément alimentaire [64].

III.5. Les risques toxicologiques des compléments alimentaires

Les compléments alimentaires peuvent avoir des conséquences néfastes sur la santé des consommateurs et entraîner des effets toxiques en raison notamment de surdosage ou de surconsommation (dépassement des apports maximaux tolérables). Un apport maximal Tolérable (**AMT**) est défini comme un apport quotidien continu le plus élevé qui ne comporte vraisemblablement pas de risques d'effets indésirables pour la santé chez la plupart des membres d'un groupe donné, il est défini en fonction de l'étape de la vie et du sexe.

- L'**AMT** ne doit jamais être considérée comme un apport recommandé.
- Le risque d'effets indésirables augmente à mesure que l'apport s'élève au-dessus de l'**AMT**.

Si l'achat de compléments alimentaires ne nécessite pas de prescription médicale, ils ne sont pas pour autant des produits anodins. Ils peuvent contenir des substances très actives et même interdites, par conséquent, des effets indésirables non négligeables peuvent apparaître.

Les effets indésirables rapportés étaient surtout d'ordre cardiovasculaire et moins fréquemment d'ordre neuropsychiatrique, hépatique, néphrologique, dermatologique, cancérigène [65].

Partie pratique

Chapitre IV
Matériel et méthodes

IV.1. Enquête ethnobotanique

IV.1.1. Objectif de l'enquête

Au début de notre étude expérimentale, nous avons conduit une enquête ethnobotanique pour montrer l'importance de l'avoine étudiée auprès de la population et pour évaluer les connaissances à propos de l'utilisation et de la consommation de l'avoine.

IV.1.2. Cadre et méthodologie de l'étude

Notre enquête a été réalisée dans trois régions du centre de l'Algérie ; il s'agit des wilayas 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, niveau intellectuel, situation familiale), les caractéristiques ethnobotaniques (Avoine utilisée, formes d'utilisation), et ethnopharmacologiques (origine de l'information, consommation etc.). Le formulaire du questionnaire utilisé est donné en (annexe 1).

IV.1.3. Analyse des données de l'enquête

IV.1.3.1. Part des participants selon la région et le sexe

Pour les régions étudiées, les pourcentages des enquêtés sont respectivement de 59.016%, 18.032% et 22.950 % pour Blida, Alger et Tipaza. L'étude a été réalisée sur un effectif total de 122 personnes dont 67.213 % sont de sexe féminin et 32.78 % du sexe masculin. Les distributions des pourcentages selon la région d'étude et selon le sexe des enquêtés sont illustrées sur la figure suivante.

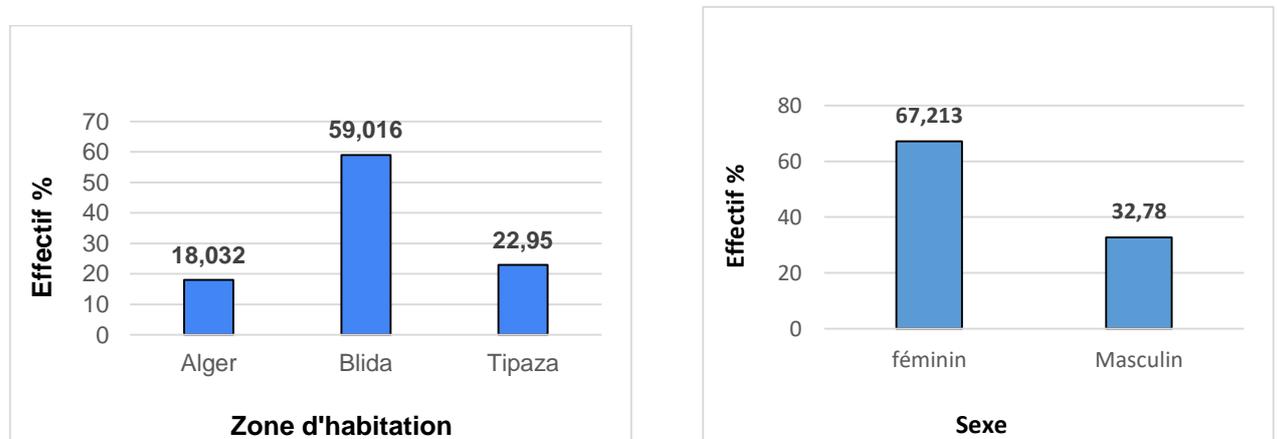


Figure IV.1 : Distributions des pourcentages des enquêtés selon la région et selon le sexe.

IV.1.3.2. Utilisation Selon l'âge

La **figure IV.2** illustre les pourcentages des enquêtés en fonction de l'âge.

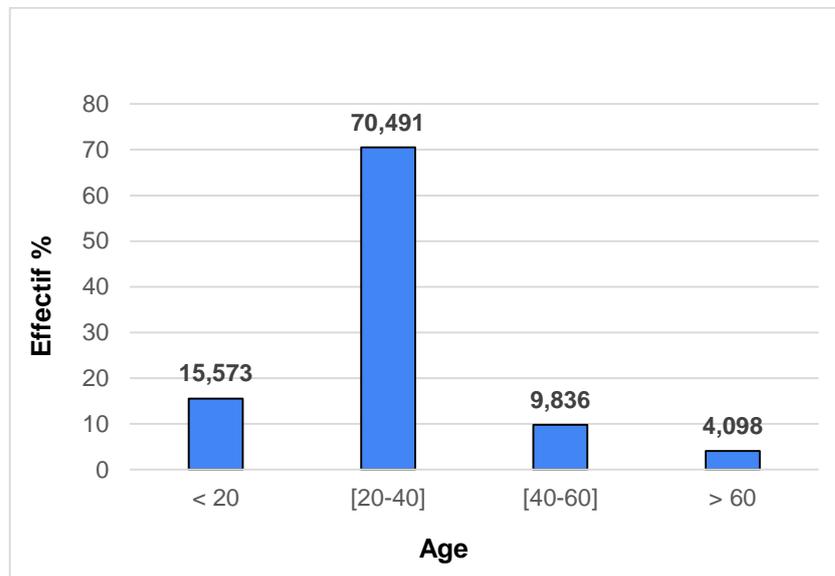


Figure IV.2 : Distributions des pourcentages des parts des effectifs des enquêtés selon l'âge.

Nous constatons une bonne connaissance de l'avoine par la population étudiée par les différentes tranches d'âges.

La tranche d'âge la plus dominante en matière d'utilisation de l'avoine est celle des enquêtés dont l'âge est compris entre 20 et 40 ans (70,491 %), suivie dans l'ordre par la tranche de moins de 20 ans (15.573 %), puis celle d'entre 40 et 60 ans (9.836 %) et enfin celle dont l'âge dépasse 60 ans (4.098%).

IV.1.3.3. Utilisation selon la connaissance de l'avoine

La **figure IV.3**, montre que la majorité de la population locale connaît l'avoine (95,901 %) et seulement 4,098 % des enquêtés qui ne la connaissent pas.

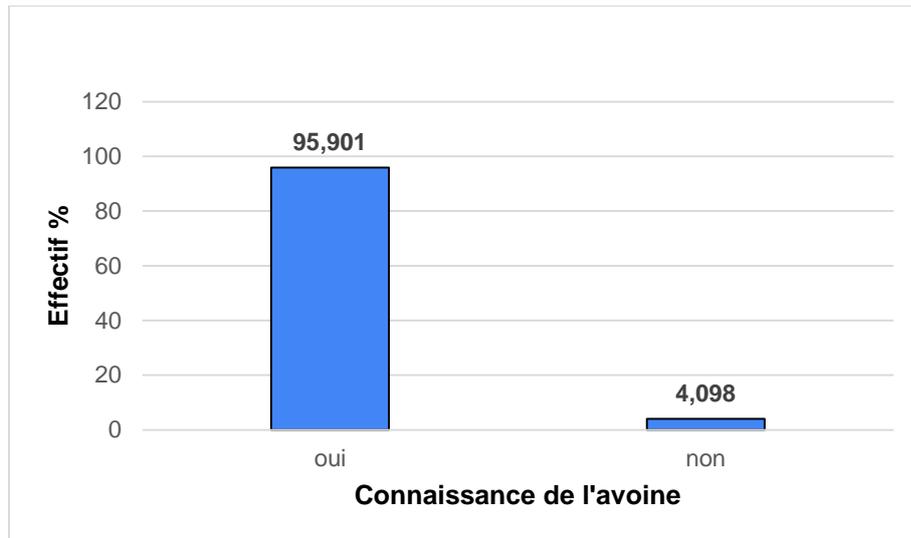


Figure IV.3 : Distributions des pourcentages des enquêtés selon la connaissance de l'avoine.

IV.1.3.4. Selon l'utilisation de l'avoine

Les différents types d'utilisation de l'avoine dans divers domaines par les enquêtés sont illustrés sur la **figure IV.4**.

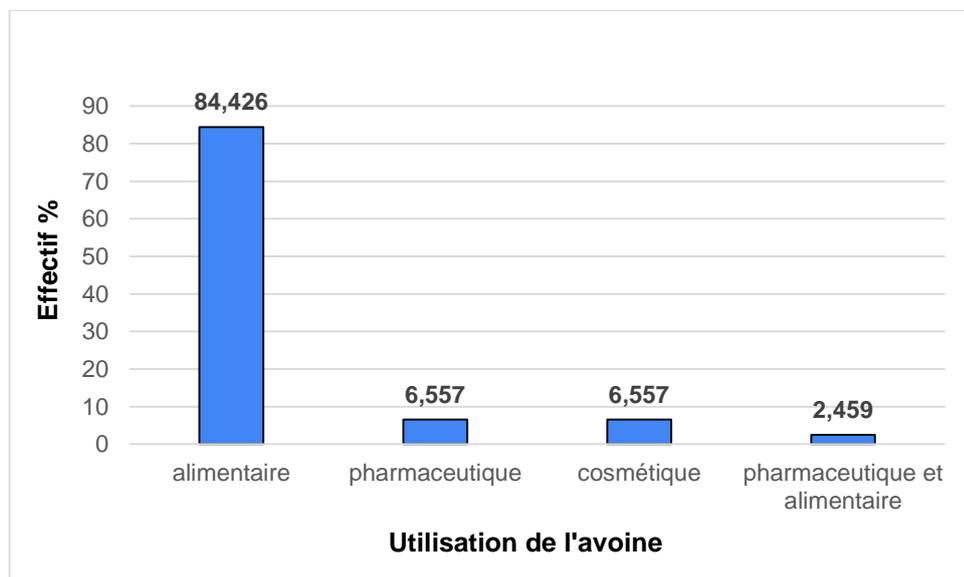


Figure IV.4 : Distributions des pourcentages des enquêtés selon l'utilisation de l'avoine.

Nous constatons que l'utilisation alimentaire de l'avoine est la plus importante avec un pourcentage élevé (84,426 %). En effet, cela se justifie par la facilité de l'avoine dans les marchés ou chez les herboristes. Alors que ce n'est pas le cas pour les autres utilisations :

pharmaceutique (6.557 %), cosmétique (6.557 %) et pharmaceutique alimentaire (2.459%), cela pourrait être dû à la méconnaissance et parfois au manque de confiance.

IV.1.3.5. Selon l'avis des consommateurs sur l'avoine

Les résultats d'analyse des avis de la population étudiée sur l'avoine sont illustrés sur la **figure IV.5**.

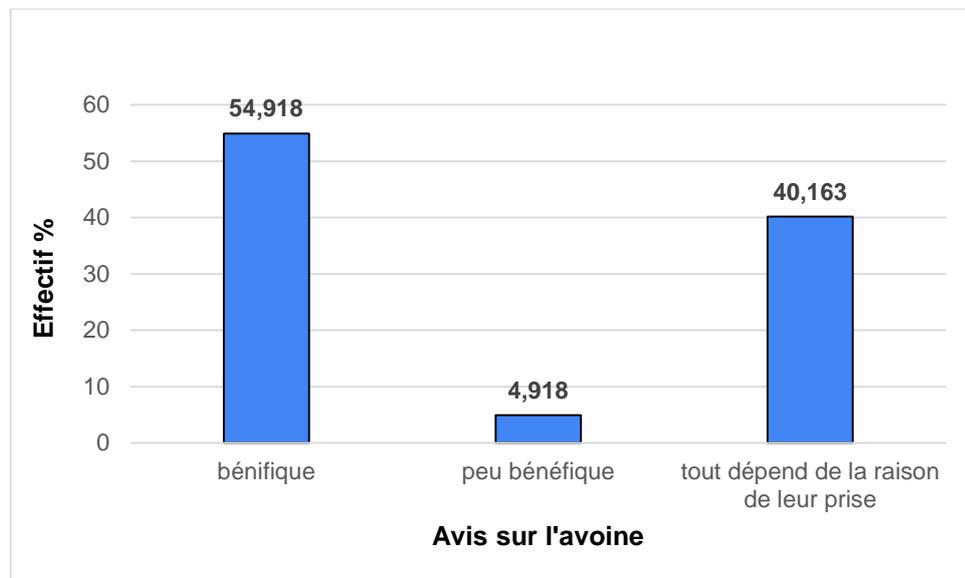


Figure IV.5 : Distributions des enquêtés selon leurs avis sur l'avoine

Nous constatons que la plupart de la population trouve que l'avoine est bénéfique (54.918 %), ces personnes connaissent les bienfaits de son utilisation dans divers domaines.

Les personnes qui ont choisi « tout dépend de la raison » (40.163 %) ne consomment l'avoine que pour des raisons spécifiques, comme les sportifs par exemple.

D'autres personnes trouvent que l'avoine est peu bénéfique (4.918 %), cela est sûrement dû à la méconnaissance des usages et des propriétés de l'avoine.

IV.2. Matériel et Méthodes

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 d'une boisson à base de deux variétés d'avoine Algérienne, nous avons appliqué la méthodologie des plans d'expériences qui consiste à organiser la démarche expérimentale et l'analyse décisionnelle en utilisant des logiciels spécifiques, parmi eux, nous avons choisi d'utiliser le logiciel Modde 6.0.

Dans ce chapitre, nous présenterons les matières premières, le matériel et les protocoles expérimentaux utilisés dans notre étude dont les différentes étapes sont :

- ✓ Caractérisation physico-chimique de la farine d'avoine des deux variétés.
- ✓ Extraction du BG qui sera utilisé comme PA dans le complément alimentaire.
- ✓ Formulation d'une boisson par plan d'expériences.
- ✓ Caractérisation physico-chimique et organoleptique de la formulation optimale.

IV.2.2 Matériel

IV.2.2.1. Matériel biologique

Deux variétés d'avoine Algérienne (Lakhal et Gharbi) ont été utilisées comme matières premières dans cette étude. Ces dernières nous ont été fournies par l'Institut Technique des Grandes Cultures (ITGC) d'El Harrach.

Leurs principales caractéristiques sont mentionnées dans le (**Tableau IV.1**).

Le choix de ces deux variétés se justifie par :

- L'importance de leurs valeurs nutritionnelles.
- L'importance de leur richesse en fibres alimentaires.

Tableau IV.1: Description des deux variétés d'avoine étudiées (ITGC, 2018).

Variété	Dénomination locale	Origine	Type de variété	Caractéristiques agronomiques
WWI 78	Gharbi 	Algérie	Lignée pure	<p>Caractéristiques Agronomiques :</p> <ul style="list-style-type: none"> ➤ Rendement : Elevé <p>Caractéristiques technologiques :</p> <ul style="list-style-type: none"> ➤ PMG (poids de mille grains) : Elevé <p>Résistances aux maladies :</p> <ul style="list-style-type: none"> ➤ Oïdium feuille : résistante ➤ Rouille brune : résistante ➤ Septoriose : résistante <p>Type de développement : Hiver</p> <ul style="list-style-type: none"> ➤ Plante hauteur (tige, épi et barbe) : longue ➤ Plante : port au tallage : demi-dressé ➤ Epoque d'apparition de la panicule : très tardive ➤ Tige : pilosité du dernier nœud : présente ➤ Panicule : orientation des ramifications : divergentes ➤ Feuille de la base : pilosité de la gaine : Moyenne ➤ Grain : couleur de la glumelle inferieure : blanche

<p>Noire 912</p>	<p>Lakhal</p> 	<p>Algérie</p>	<p>Lignée pure</p>	<p>Caractéristiques Agronomiques :</p> <ul style="list-style-type: none"> ➤ Rendement : Elevé <p>Caractéristiques technologiques :</p> <ul style="list-style-type: none"> ➤ PMG (poids de mille grains) : Elevé <p>Résistances aux maladies :</p> <ul style="list-style-type: none"> ➤ Oïdium feuille : résistante ➤ Rouille brune : résistante ➤ Septoriose : résistante <p>Type de développement : Hiver</p> <ul style="list-style-type: none"> ➤ Plante hauteur (tige, épi et barbe) : longue ➤ Plante : port au tallage : ½ étalé ➤ Epoque d'apparition de la panicule : tardive ➤ Tige : pilosité du dernier nœud : absence ➤ Panicule : orientation des ramifications : divergentes ➤ Feuille de la base : pilosité de la gaine : nulle à très faible ➤ Grain : glumelles : présence ➤ Grain : couleur de la glumelle inférieure : noire
-----------------------------	--	-----------------------	-------------------------------	---

IV.2.2.2. Appareillage

L'appareillage utilisé lors de notre travail pratique est donné ci-dessous :

Tableau IV.2 : L'appareillage utilisé lors du travail expérimental.

Appareillage	Utilité
Balance électronique (KERN ALS 220-4N)	Pesée des matières premières
Broyeur (high-speed Multi-function Grinder RRH-500A)	Mouture des grains de l'avoine
Centrifugeuse (Pro-Analytical)	La séparation dans l'extraction
FTIR-8900 (SHIMADZU)	L'analyse qualitative du produit
Homogénéisateur (ultra-turax)	Homogénéisation de la formulation
UV-visible (Hitachi, U5100 spectrophotomètre)	Analyse qualitative et quantitative du PA
Rhéomètre (ANTON PAAR modular compact rhéomètre MCR 302)	Evaluation des paramètres rhéologiques de la formulation
PH mètre (HANNA INSTRUMENTS HI-2210)	Mesurer le PH
DLS (HORIBA SCIENTIFIC NANO PARTICA, nano particule Analyzer SZ-100)	Mesure du potentiel zêta des particules
Réfractomètre numérique (MA871)	Détermination du degré Brix
Turbidimètre Loviband (TB-300)	Mesure de la turbidité
Microscope (LEIDA DM500)	Etude de la formulation

IV.2.2.3. Matières premières de la formulation

a. Principe actif

Le Bêta-glucane utilisé au cours de la partie expérimentale est extrait à partir des grains des deux variétés de l'avoine, il est considéré comme le principe actif de notre formulation.

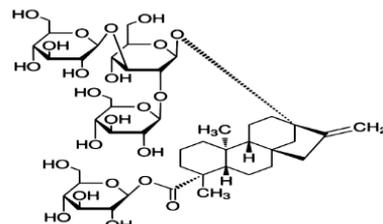
b. Excipients

Les excipients ont été utilisés dans le but d'améliorer les propriétés physico-chimiques et organoleptiques de la formulation. Ces derniers sont :

➤ *Stévia Rebaudiana*

Des études menées dans le domaine de la santé ont montré que l'espèce végétale *Stévia rebaudiana* pourrait être plus qu'un simple édulcorant, elle possède de nombreuses propriétés médicinales notamment sur la tension artérielle et le diabète. Le tableau ci-dessous résume ses principales caractéristiques physico-chimiques.

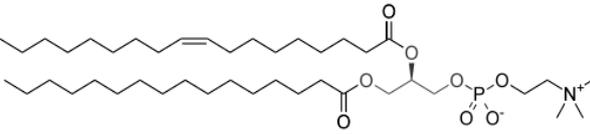
Tableau IV.3 : Les propriétés physico-chimiques de la *Stévia rebaudiana*.

Les propriétés	Les spécifications
Aspect	Poudre cristalline blanche
Goût	Sucré sans arrière-goût métallique
Propriétés physico-chimiques	Formule moléculaire : $C_{44}H_{70}O_{23}$ Masse moléculaire : 967 g.mol^{-1} Température de fusion : $242\text{-}244^\circ\text{C}$ Solubilité : soluble dans l'eau.
Rôle	Edulcorant et agent conservateur
Structure chimique	

➤ Lécithine de soja

Le tableau ci-dessous résume les caractéristiques physico-chimiques de la lécithine de soja qui est couramment utilisée dans la préparation d'aliments, de produits cosmétiques et de médicaments, car elle prolonge la durée de conservation et agit comme un émulsifiant.

Tableau IV.4 : Les propriétés physico-chimiques de la lécithine de soja.

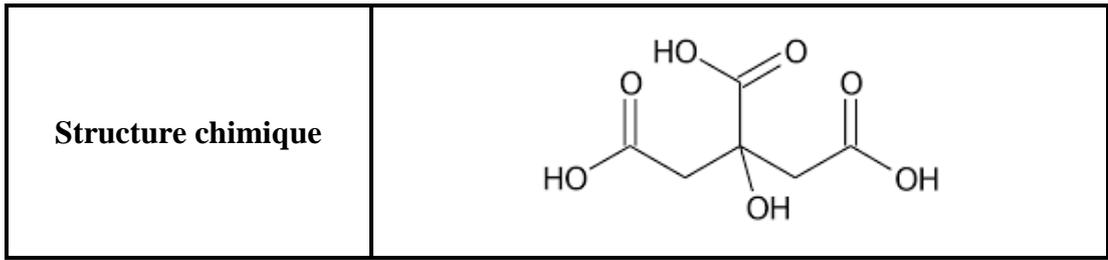
Les propriétés	Les spécifications
Aspect	Marron à jaune et aussi inodore
Propriétés physico-chimiques	<p>Formule moléculaire : $C_{40}H_{80}NO_8P$</p> <p>Masse moléculaire : $733,0 \text{ g.mol}^{-1}$</p> <p>Température d'ébullition : $> 200^\circ\text{C}$</p> <p>Solubilité : soluble dans des solvants aliphatiques et aromatiques, hydrocarbures halogénés, huiles minérales et acides gras. Pratiquement insolubles dans les huiles végétales et animales froides, les solvants polaires et l'eau. Lorsqu'elles sont mélangées avec de l'eau, les lécithines s'hydratent pour former des émulsions</p>
Rôle	Emulsifiant et stabilisant
Structure chimique	

➤ **Acide citrique**

Le tableau ci-dessous résume les caractéristiques physico-chimiques de l'acide citrique qui est un acide tricarboxylique α -hydroxylé présent en abondance dans le citron.

Tableau IV.5 : Les propriétés physico-chimiques de l'acide citrique.

Les propriétés	Les spécifications
Aspect	Cristaux blancs
Propriétés physico-chimiques	<p>Formule moléculaire : $C_6H_8O_7$</p> <p>Masse moléculaire : $192,124 \text{ g.mol}^{-1}$</p> <p>Température de fusion : 153°C</p> <p>Solubilité : Eau, Acétone, Diméthylsulfoxyde, Acétate d'éthyle.</p>
Rôle	Acidifiant, conservateur



➤ **Amidon de maïs**

Le tableau ci-dessous résume les caractéristiques physico-chimiques de l'amidon de maïs.

Tableau IV.6 : Les propriétés physico-chimiques de l'amidon de maïs.

Les propriétés	Les spécifications
Aspect	Poudre blanche inodore
Propriétés physico-chimiques	<p style="text-align: center;">Formule moléculaire : $(C_6H_{10}O_5)_n$</p> <p style="text-align: center;">Température de fusion : 200 °C</p> <p style="text-align: center;">Solubilité : insoluble dans les solvants aqueux dans les conditions normales de température et de pression mais soluble à haute température.</p>
Rôle	Agent épaississant et viscosifiant
Structure chimique	

IV.2.3. Méthodes expérimentales

IV.2.3.1. Préparation de la farine à partir des grains de l'avoine

❖ Nettoyage de l'avoine

Le nettoyage a été réalisé manuellement, il a pour but d'enlever toutes les impuretés telles que :

- Les corps étrangers comme la paille, les pierres...etc.
- Les graines pourries.

❖ Broyage

Le broyage des grains des deux variétés a été réalisée avec un broyeur (High-speed Multi-function Grinder RRH-500A) (**voir annexe 2**), jusqu'à l'obtention d'une farine.

❖ Séparation

Cette phase a pour objectif de séparer les enveloppes de la farine par tamisage.

Après ces étapes, on obtient les deux variétés d'avoine sous forme d'une poudre fine, l'une est jaunâtre et l'autre est noire, comme illustré sur la figure ci-dessous :

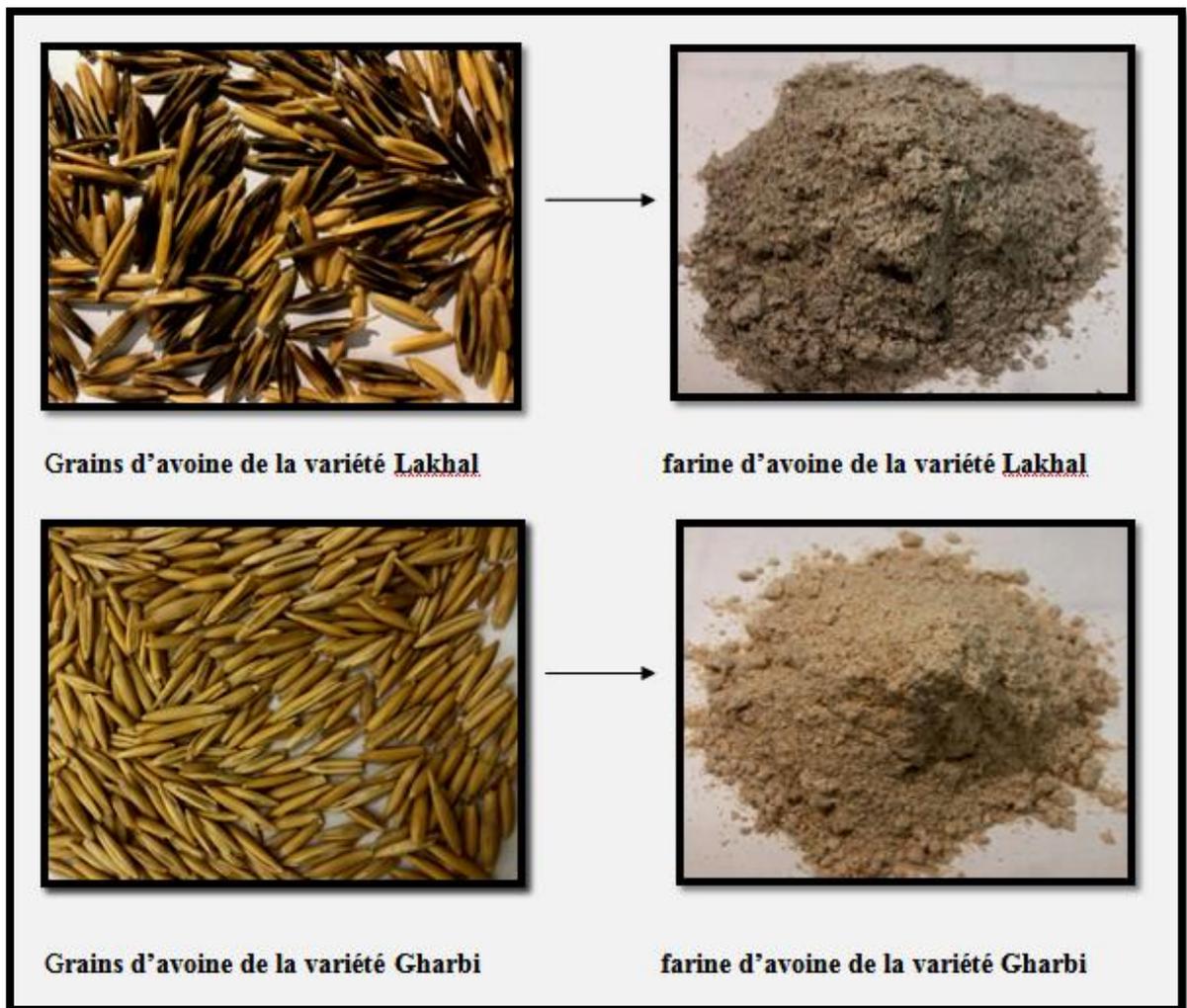


Figure IV.6 : Grains et farines des deux variétés d'avoine (Gharbi et Lakhal).

IV.2.3.2. Analyses physicochimiques de l'avoine

IV.2.3.2.1. Détermination de l'humidité (Méthode internationale ISO-712, 1979)

La détermination de l'humidité conditionne la précision des résultats du fait qu'elle permet de rapporter les résultats à la matière sèche.

➤ Principe

La teneur en eau est déterminée après séchage du produit à une température comprise entre 130 et 133°C, pendant 1h30 à la pression atmosphérique.

Les résultats s'expriment en pourcentage :

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

Où

m₀: masse de la prise d'essai (g).

m₁: masse de la prise d'essai après étuvage (g).

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

IV.2.3.2.2. Détermination de la teneur en cendres (Norme AFNOR NFV 03-720, 1981)

La connaissance de la teneur en matières minérales (ou teneur en cendres) permet aux meuniers de régler leurs moulins et de déterminer les taux d'extraction des farines. Elle est utilisée pour déterminer le degré de pureté réglementaire des farines. Il est préconisé d'utiliser la méthode par incinération à 900°C pour les céréales et leurs produits de mouture destinés à l'alimentation humaine.

➤ Principe

Le principe repose sur l'incinération du produit à une température de 900°C (céréales et produits de mouture) durant 1h15 à 2 heures jusqu'à combustion complète de la matière organique. La teneur en cendres est déterminée par la pesée du résidu obtenu et les résultats sont rapportés à la matière sèche.

Teneur en cendres (%) :

$$C (\%) = \frac{m_1}{m_0} * 100 * \frac{100}{100-H} \quad (\text{IV.3})$$

Où

m₀: masse de la prise d'essai (g).

m₁: masse du résidu (g).

H : teneur en eau du produit (%).

IV.2.3.2.3. Détermination de la teneur en matière grasse (Norme NFV03-713, 1980)

Le principe consiste à extraire les lipides libres par un solvant organique apolaire tel que l'éther de pétrole pendant une durée de 6 à 8 heures dans un soxhlet. Le solvant contenu dans le ballon préalablement taré est distillé à l'aide d'un évaporateur rotatif sous vide. La différence du poids du ballon constitue la matière grasse.

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

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

Où

m₀: masse de la prise d'essai (g).

m₁: masse du ballon vide (g).

m₂: masse du ballon et du résidu (g).

IV.2.3.2.4. Détermination de la teneur en protéines

L'azote total est dosé selon la méthode KJELDAHL, appliquée aux céréales et normalisée en Algérie sous la référence NA1185/1990. Elle permet une évaluation de la teneur en protéines par utilisation du facteur de conversion adéquat (6.25 pour protéines d'origine végétale).

Le dosage de l'azote permet donc de donner une idée sur la qualité nutritionnelle et technologique de l'avoine.

Ce dosage comprend 4 étapes :

- ◆ Une minéralisation de l'azote organique contenu dans la prise d'essai en sulfate d'ammonium sous l'action de l'acide sulfurique concentré, à chaud, en présence d'un catalyseur approprié.
- ◆ Alcalinisation des produits de la réaction par addition d'une quantité suffisante d'hydroxyde de sodium.
- ◆ Distillation de l'ammoniac libéré et titrage.
- ◆ Conversion du résultat en le multipliant par le facteur 6.25.

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

$$\text{Protéines \%} = \frac{0.0014 \times V \times 100}{n} \times \frac{100}{100 - H} \times 6.25 \quad (IV.5)$$

Où

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

V : volume de l'acide sulfurique versé pendant le titrage (ml).

H: teneur en eau du produit (%).

IV.2.3.2.5. Détermination de la teneur en fibres par la méthode de la cellulose brute selon (Norme NFV O3-040, 1977)

La méthode de WEENDE (1953) ne dose pas seulement la cellulose, mais aussi quelques impuretés d'où son appellation ; cellulose brute. La méthode de Weende solubilise en effet 30 à 100 % de la cellulose, de 14 à 20 % de pentosanes et de 16 à 50 % de la lignine selon le matériel végétal analysé.

➤ Principe

L'échantillon est soumis à deux hydrolyses (30 min chacune) en milieu acide et alcalin. Après neutralisation, le résidu insoluble est lavé, séché jusqu'à poids constant à 105°C. Le produit obtenu est incinéré dans un four à moufle à 600°C et pesé. La différence entre les deux pesées représente la matière cellulosique brute.

➤ Mode opératoire

On pèse 1g d'échantillon dans un creuset en porcelaine puis on le place sur l'appareil de Weende. Puis on verse 150 ml d'acide sulfurique concentré préchauffé, on ajoute 2 à 3 gouttes d'anti-mousse dans chaque colonne. On arrête le chauffage après 30 min d'ébullition. On rince rapidement chaque creuset avec de l'eau distillée très chaude et avec un peu de solution basique (KOH). Ensuite on réalise la deuxième attaque basique en versant 150 ml de solution préchauffée de KOH. On laisse une deuxième fois le liquide passer sur un nouveau filtre ambiant. On rince aussi 5 fois avec de l'eau distillée chaude et quelquefois à l'acétone jusqu'à l'élimination des matières grasses.

On met les creusets à l'étuve à 105°C pendant 3 heures. Après refroidissement, on réalise les pesées (P₁). Enfin, on place les échantillons dans un four à 600°C pendant 6 heures pour brûler les matières cellulosiques. Ensuite on va les mettre dans un dessiccateur avant de faire une deuxième pesée (P₂).

La teneur en cellulose brute (% CB) est calculée comme suit :

$$\text{CB \%} = (P_1 - P_2) \times 100$$

(IV.6)

IV.2.3.3. Extraction du Beta-glucane

L'extraction du BG contenu dans les deux variétés d'avoine a été effectuée par la méthode décrite par (Ahmad *et al.*) [66] avec quelques modifications.

Faire chauffer les farines des deux variétés d'avoine dans de l'éthanol 80 % (EtOH) pendant 6 heures à reflux pour éviter les pertes de matière par évaporation (**Figure IV.7**). L'objectif principal de cette étape est la dénaturation de l'enzyme qui dégrade le BG par l'éthanol et la température.

Filtrer le mélange sur papier Whatman (**Figure IV.8**). Récupérer la farine et la sécher à l'étuve pendant 12h.

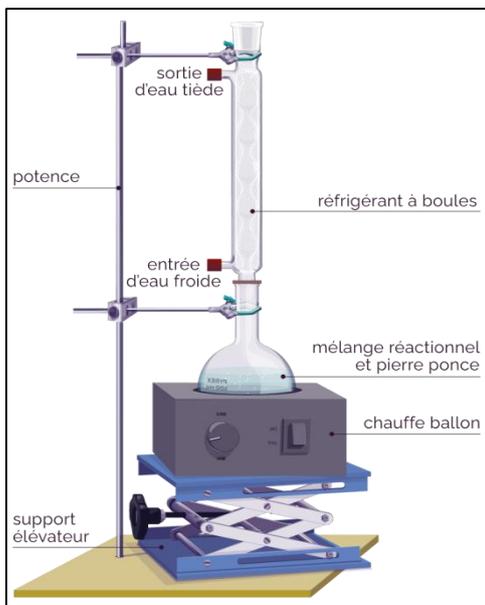


Figure IV.7 : Principe de fonctionnement du montage à reflux.



Figure IV.8 : Filtration de la poudre après le montage à reflux (photo originale).

➤ **Purification**

Pour l'obtention du Beta-glucane, on passe par les étapes suivantes :

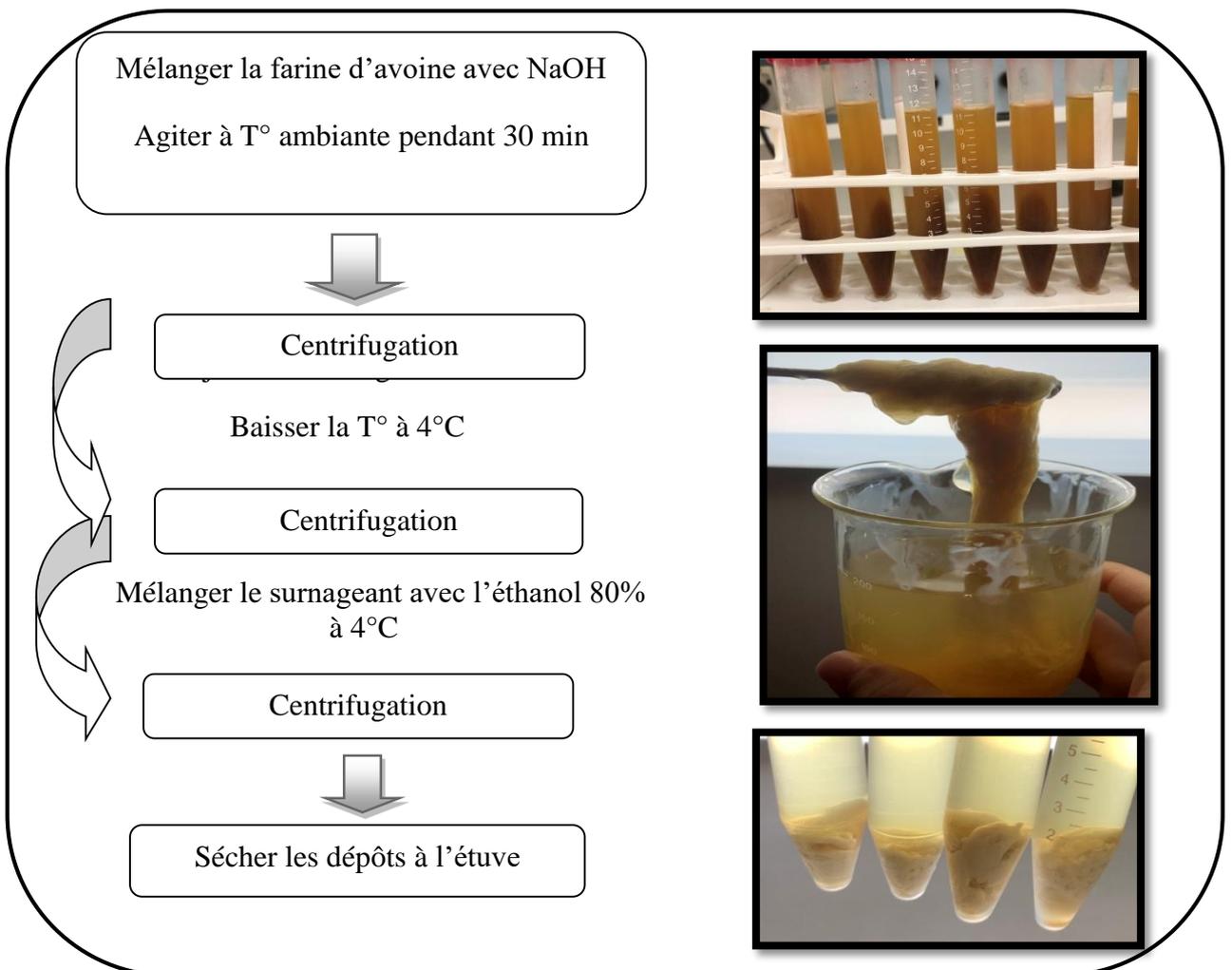


Figure IV.9 : Schéma général de l'extraction du Beta-glucane [66].

➤ Rendement de l'extraction

Le rendement de l'extraction est défini comme étant le rapport entre la masse d'extrait obtenu et la masse du matériel végétal traité (AFNOR, 1986). Le rendement est exprimé en pourcentage :

$$\mathbf{R (\%) = (m_{(extrait)} / m_s) * 100} \quad \mathbf{(IV.7)}$$

R : rendement en %.

m_(extrait) : masse de l'extrait récupéré (g).

m_s : masse de la matière végétale sèche utilisée pour l'extraction (g).

IV.2.3.4. Identification et caractérisation de l'extrait

IV.2.3.4.1. Identification par spectroscopie infrarouge à transformée de Fourier (FTIR)

La spectroscopie infrarouge à transformée de Fourier est une technique d'analyse basée sur l'absorption d'un rayonnement infrarouge par l'échantillon à analyser. Ce dernier peut être à l'état gazeux, solide ou liquide. Elle permet via l'absorption des vibrations caractéristiques des liaisons chimiques de détecter la présence de certaines fonctions chimiques présentes dans la matière.

➤ Mode opératoire

L'échantillon utilisé est sous forme de poudre, 3 mg du BG a été mélangé avec 20 mg de KBr, puis la poudre a été broyée uniformément avec un mortier en Agathe, ensuite elle a été compactée en disque transparent sous haute pression, enfin le disque a été placé avec le porte-échantillon à travers la lumière émise par le spectrophotomètre IR (**voir annexe 2**). Le spectre obtenu a été enregistré [67].

IV.2.3.4.2. Solubilité du Beta-glucane

La solubilité du BG a été déterminée dans l'eau à différentes températures. Pour ce faire, 50 mg de la poudre a été ajoutée à 5 ml de chaque solvant.

IV.2.3.4.3. Evaluation de l'activité antioxydante in vitro

L'activité antioxydante a été déterminée par le test au DPPH.

➤ Principe

Le DPPH est un radical libre stable violet en solution. Il présente une absorbance caractéristique dans un intervalle compris entre 512 et 517 nm. Sa couleur disparaît rapidement lorsque le DPPH est réduit en diphényle picryl-hydrazine (jaune) par un composé à propriété anti radicalaire, entraînant ainsi une décoloration (Figure II.5). L'intensité de la couleur est inversement proportionnelle à la capacité des antioxydants présents dans le milieu à donner des protons [68].

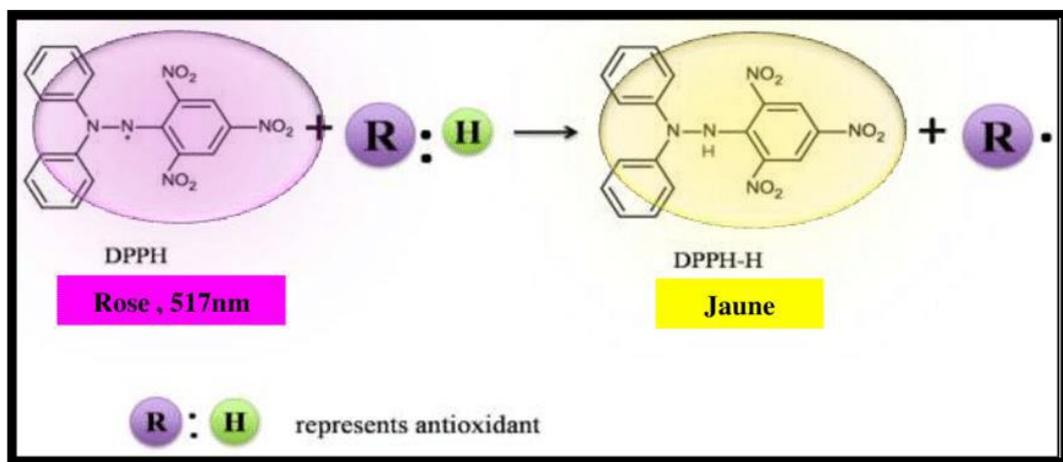


Figure IV.10 : Réaction d'un antioxydant avec le radical DPPH.

➤ Mode opératoire

Un ml de la solution éthanolique de DPPH (0.04 mM) est ajouté à 1ml de la solution de chaque extrait à différentes concentrations (100, 200, 300, 400, 500 et 600 µg/ml). Le mélange est vigoureusement agité, puis les tubes sont incubés à température ambiante et à l'obscurité pendant 30 minutes. La longueur d'onde d'absorption maximale a été préalablement déterminée. Toutes les lectures sont effectuées à 517 nm [69].

Les échantillons, le témoin et l'acide ascorbique (référence) sont préparés dans les mêmes conditions opératoires.

Le pourcentage d'inhibition de chaque concentration est estimé selon l'équation suivante :

$$PI (\%) = \frac{ABS_C - ABS_E}{ABS_C} \times 100$$

(IV.8)

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

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

➤ **Détermination de la concentration inhibitrice médiane (IC50)**

L'IC50 est définie comme étant la quantité ou la concentration d'antioxydants (extrait ou toute autre substance antioxydante) nécessaire pour inhiber ou faire disparaître 50% des radicaux. Les IC50 sont calculées graphiquement par des pourcentages d'inhibition en fonction des différentes concentrations des extraits testés. Pour chaque extrait une courbe de régression linéaire ($Y = a X + b$) est établie afin de calculer l'IC50 qui permettra la caractérisation du pouvoir antioxydant des extraits. Une faible valeur de l'IC50 indique une forte activité antioxydante [70].

IV.2.3.4.4. Evaluation de l'activité antibactérienne

Cette méthode est la plus connue et la plus utilisée, elle consiste en l'ensemencement sur un milieu gélosé, dans une boîte de Pétri, d'une suspension bactérienne. Notre étude a porté sur 3 bactéries pathogènes à Gram+ et Gram- : *Escherichia coli* (ATCC 8739), *Escherichia coli* DH5 (alpha), *Staphylococcus aureus* (ATCC6538).

Afin de mieux évaluer cette activité une étude plus poussée a été menée par la détermination des concentrations minimales inhibitrices (CMI) des extraits bêta-glucane contre les différentes souches bactériennes selon la méthode de micro-dilution. La CMI est définie comme étant la plus faible concentration capable d'inhiber toute croissance microbienne visible à l'œil nu.

L'activité antimicrobienne contre les microorganismes analysés dans la présente étude a été évaluée qualitativement et quantitativement en fonction de la présence ou l'absence de zones d'inhibition, le diamètre de la zone (DD) et la concentration minimale inhibitrice (CMI).

IV.2.3.5. Formulation de la boisson

IV.2.3.5.1. Utilisation du plan d'expériences

L'outil mathématique utilisé pour déterminer le nombre d'essais à réaliser pour la formulation d'une boisson diététique est le plan d'expériences. Cette méthodologie permet une meilleure planification des essais de formulation de manière à obtenir le maximum d'informations pour un minimum d'expériences tout en assurant à l'expérimentateur plus de sûreté et de précision sur les résultats attendus.

Elle a pour objectif d'optimiser les niveaux de facteurs étudiés pouvant influencer les caractéristiques de notre boisson. La génération de la matrice d'expériences ainsi que l'analyse statistique des résultats ont été faites au moyen du logiciel Modde, version 6 [71].

IV.2.3.5.2. Choix du plan d'expériences

L'objectif étant d'optimiser les caractéristiques du système étudié à savoir la viscosité et la stabilité. Nous avons choisi un plan de surface du type composite car il permet d'étudier les facteurs extérieurs et intérieurs qui influent considérablement sur la formulation. Ce plan permet d'obtenir une meilleure précision sur la modélisation des résultats, l'étude du mode d'action des facteurs sur les réponses, et permet également la prédiction et l'optimisation de réponses.

IV.2.3.5.3. Choix des facteurs

La qualité de notre boisson dépend de plusieurs facteurs tels que les excipients qui entrent dans sa composition, parmi ces derniers ceux qui présentent un effet très important sur la viscosité et la stabilité sont l'amidon et la lécithine de soja.

La concentration de l'amidon est l'un des facteurs les plus importants qui confère à la boisson la viscosité requise. Le deuxième facteur est la lécithine de soja ; c'est un émulsifiant qui est responsable de la stabilité de la boisson.

Les concentrations des autres composants de la boisson ont été fixés, ces derniers sont : le Béta-glucane, la Stévia, l'acide citrique, un colorant et un arôme.

Le Tableau suivant regroupe les niveaux des facteurs étudiés en valeurs codées, (-1) désignant le niveau bas et (+1) le niveau haut. 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 IV.7 : Facteurs étudiés avec leurs niveaux.

Facteurs		- 1	+ 1
X ₁	Lécithine de soja	Minimale	Maximale
X ₂	Amidon de maïs	Minimale	Maximale

IV.2.3.5.4. Choix des réponses

La qualité de la boisson se traduit par la constance des caractères organoleptiques (goût, couleur, odeur et saveur) et physico-chimiques telles que la viscosité, la densité, la stabilité et la turbidité. Dans notre cas, le nombre de réponses à étudier est limité à deux : la viscosité et la stabilité.

IV.2.3.5.5. Construction du plan composite

Avec un plan composite centré, il est possible de déterminer des surfaces de réponse, ce qui permet de rechercher les réponses optimales et de repérer les valeurs des facteurs étudiés qui conduisent à cet optimum. La méthodologie permet de modéliser les réponses en fonction des facteurs, en vue de prédire le comportement du système dans des conditions opératoires données [72].

Pour notre étude, le nombre de facteurs (k) est égal à 2 (amidon et lécithine de soja), le nombre d'essais à réaliser est composé des essais du plan factoriel (NF), auquel on ajoute trois points supplémentaires au centre (N0) pour évaluer la reproductibilité des mesures et l'erreur expérimentale, et deux points « axiaux » pour chaque facteur (Na), avec $\alpha = 1$.

Le nombre total d'essais à réaliser est :

$$NF + N0 + Na = 2k + 3 + 2*k = 11 \quad (IV.9)$$

La réponse étudiée en fonction des facteurs expérimentaux est donnée par l'équation (10) qui est une équation du second ordre de la forme :

$$Y = a_0 + a_1 x_1 + a_2 x_2 + a_{11}x_{12} + a_{22} x_{22} + a_{12} x_1 x_2 \quad (IV.10)$$

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

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

La matrice d'expériences correspondant aux valeurs codées des facteurs influençant la formulation de la boisson, obtenue par le logiciel, est donnée dans le **Tableau IV.8**.

Tableau IV.8 : Matrice d'expériences en valeurs codées.

Expérience N°	Amidon	Lécithine de soja
1	-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

IV.2.3.5.6. Expérimentation : Préparation des boissons

➤ Mode opératoire

La boisson est une préparation aqueuse obtenue par dissolution d'une forte proportion de sucre additionnée ou non du principe actif ou par un mélange de sirop simple avec un liquide médicamenteux. C'est une forme facile à avaler, masquant des substances à gout désagréable.

Étape 01 : Faire bouillir la phase aqueuse de l'extrait du BG sur une plaque chauffante jusqu'à sa dissolution complète, laisser refroidir à température ambiante, ajouter l'acide citrique et l'arôme en agitant.

Étape 02 : Dans un bécher, mélanger la lécithine de soja avec la Stévia et agiter lentement.

Étape 03 : Mélanger la solution de la lécithine de soja avec la solution du BG sous homogénéisation, ajouter le colorant en chauffant et enfin ajouter la solution d'amidon de maïs jusqu'à ce que la solution devienne visqueuse.

- Formulation de 11 boissons selon la matrice d'expériences **Figure IV.11**.
- Les boissons obtenues ont été conditionnées dans des flacons stériles de 100 ml et stockées à 4°C.
- Mesure de la viscosité et de la stabilité de toutes les formulations réalisées.



Figure IV.11 : formulation des 11 boissons.

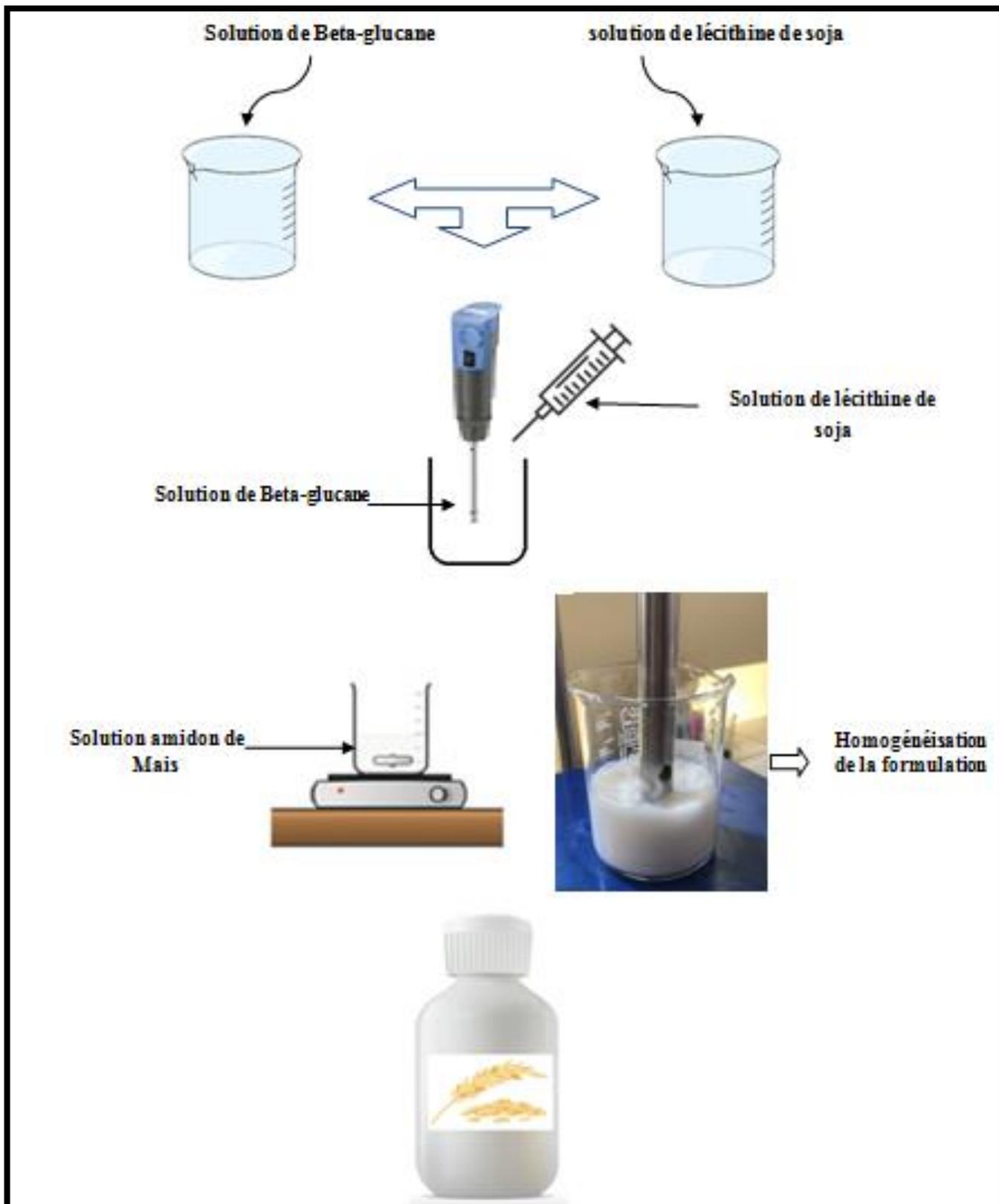


Figure IV.12 : Les étapes de la formulation de la boisson diététique à base du Beta-glucane de l'avoine.

IV.2.3.6. Caractérisation physico-chimique de la boisson diététique

D'autres analyses physico-chimiques ont été réalisées sur la boisson formulée après traitement des résultats du plan d'expériences (formule optimale).

IV.2.3.6.1. Test organoleptique

L'aspect, la couleur et l'odeur de la boisson ont été déterminés par voie sensorielle.

IV.2.3.6.2. Mesure de la densité

La densité d'un liquide est définie comme étant le rapport de la masse volumique du liquide et la masse volumique de l'eau à la même température. Elle est mesurée à l'aide d'un pycnomètre de 10 ml (**voir annexe 2**) à 25C°.

La densité de la boisson a été calculée par la formule suivante :

$$D = (M_0 - M_1) / (M_{\text{eau}} - M_1) \quad (\text{IV.11})$$

Où :

M₀ : masse du pycnomètre avec la boisson (g).

M₁ : masse du pycnomètre vide (g).

M_{eau} : masse du pycnomètre avec l'eau distillée (g).

IV.2.3.6.3. Mesure du pH

Le pH donne une indication de l'acidité, la neutralité ou l'alcalinité d'une solution aqueuse, il est déterminé à partir de la quantité d'ions d'hydrogène (H⁺) ou d'ions hydroxyde (OH⁻) contenus dans la solution. Elle se fait par méthode potentiométrique à l'aide d'un pH-mètre (**voir annexe 2**) calibré sur une échelle de 0 à 14 dont l'électrode est directement immergée dans le sirop. La valeur obtenue est lue sur l'écran de l'appareil.

IV.2.3.6.4. Mesure du potentiel Zêta

Le potentiel zêta (ou potentiel électrocinétique zêta) représente la différence de potentiel entre la surface de la particule, recouverte d'ions opposés et solidement fixés, et le point de neutralité [73].

Le potentiel zêta de la formulation sélectionnée a été mesuré en utilisant la diffusion de la lumière DLS (**voir annexe 2**). La mesure du potentiel permet de prédire et de contrôler la stabilité de la dispersion. Les amplitudes du potentiel zêta élevées indiquent une dispersion stable.

On introduit 10 mg de la boisson dans une fiole de 100 ml qu'on fait dissoudre dans l'eau distillée après on prélève une quantité avec une seringue et on l'injecte dans la cellule de l'appareil du DLS pour effectuer la mesure.

Pour évaluer la stabilité de la boisson, on mesure le potentiel zêta pendant un mois, prenant en considération les propriétés organoleptiques.

IV.2.3.6.5. Mesure de la viscosité

La viscosité d'un liquide est la propriété caractérisée par la résistance qu'opposent ses molécules au déplacement des molécules voisines.

L'unité de viscosité absolue dynamique d'un liquide homogène est le poise ou Pa.s.

La détermination de la viscosité consiste à mesurer une quantité de la boisson dans un rhéomètre de la marque (MCR 302 Anton PAAR PHYSICA) (**voir annexe 2**) qui fonctionne en régime continu et en oscillation. Le dispositif est muni d'un logiciel qui permet le pilotage du rhéomètre et le traitement des données ainsi que leur exploitation. La géométrie utilisée est le cône plan 60mm qui permet d'appréhender les viscosités les plus faibles aux viscosités les plus fortes dans des conditions de T° de 20°C.

IV.2.3.6.6. Mesure du degré Brix

La mesure du degré Brix détermine la teneur en saccharose dans l'échantillon. Cette mesure a été réalisée à l'aide d'un réfractomètre numérique de la série MA871 (illustré ci-dessous). Après homogénéisation de la boisson, déposer quelques gouttes sur le réfractomètre, le résultat est affiché directement par l'appareil.

Le degré Brix est exprimé en pourcentage (%), 1 degré Brix (°Bx) est égal à 1 g de saccharose par 100 g de solution.



Figure IV.13 : Refractomètre numérique (photo originale).

IV.2.3.6.7. Analyse microscopique

L'examen microscopique a été réalisé à l'aide d'un microscope optique (LEIDA DM500) (**figure IV.13**) avec un agrandissement de 40 fois. Pour une meilleure dispersion de l'échantillon, la suspension a été placée entre une lame et une lamelle. Cet examen est suivi d'une microphotographie. L'examen microscopique des suspensions montre la dispersion des globules et constitue un excellent moyen pour suivre la stabilité de ces systèmes.



Figure IV.14 : Microscope optique (photo originale)

Chapitre V Résultats

Et

Discussion

V. Résultats et discussion

Ce chapitre regroupe les principaux résultats obtenus lors de cette étude.

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

Les résultats des analyses physico-chimiques de la farine d'avoine des variétés Gharbi et Lakhali, exprimés par rapport à la matière sèche sont représentés dans le **tableau V.1** et (**Figure V.1**).

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

Composants en% / MS	Gharbi	Lakhali
Humidité	10.28	10.21
Matière sèche	89.72	89.79
Matière minérale (les cendres)	3.20	3.46
Protéines	9.41	8.49
Matière grasse	5.69	5.57
Fibres	10.78	15.94

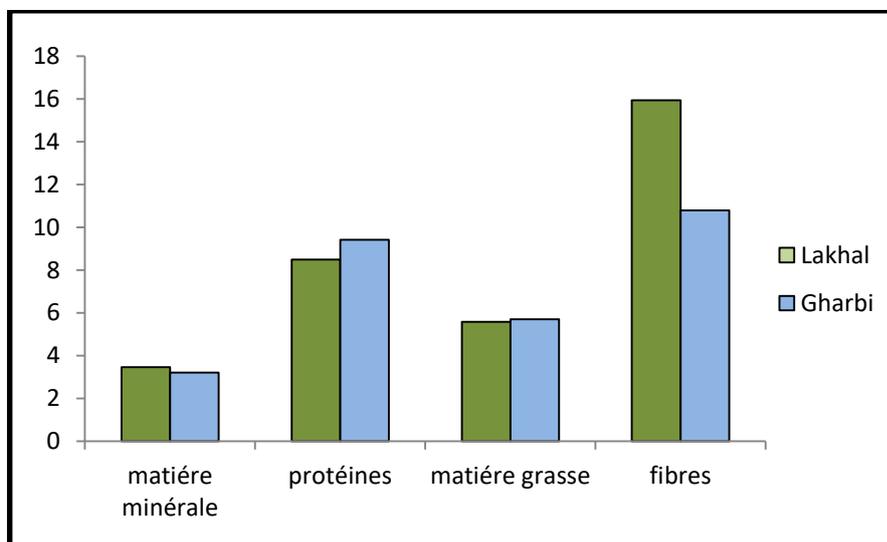


Figure V.1 : Résultats des analyses physico-chimiques des deux variétés de l'avoine.

V.1.1. Teneur en eau

Le dosage de l'humidité permet de statuer sur les risques d'altération lors du conditionnement et du stockage des aliments. C'est un facteur crucial dans l'évolution des phénomènes biologiques notamment la prolifération des microorganismes [74].

L'avoine sur laquelle nous avons travaillé présente presque le même taux d'humidité, 10.28% (89.72% MS) pour la variété Gharbi et 10.21% (89.79% MS) pour la variété Lakhal (**tableau V.1**), ceci implique que nos échantillons ont une teneur en eau acceptable qui permet leur bonne conservation sans risques d'altération.

V.1.2. Matière minérale (teneur en cendres)

Le résultat obtenu montre que la teneur en matière minérale de la variété Lakhal (3,46%) n'est pas significativement supérieure à celle de la variété Gharbi (3,2%) (**tableau V.1**).

Ce taux de cendres varie avec les différentes parties du grain, Il est plus élevé dans le germe [75]. Il est fonction du type de sol, des conditions de cultures, des engrais utilisés et de la variété [76].

Il est à signaler que les cendres totales ne recouvrent pas rigoureusement la somme pondérale des sels minéraux contenus dans les produits céréaliers, car un grand nombre des sels minéraux sont détruits, modifiés ou se volatilisent à la température d'incinération (900°C). C'est pour cette raison qu'on peut estimer des teneurs en éléments minéraux beaucoup plus élevées aux valeurs trouvées [77].

V.1.3. Teneur en protéines

L'analyse réalisée sur la farine d'avoine des deux variétés révèle que la teneur en protéines de la variété Gharbi (9.41%) est supérieure à celle de la variété Lakhal (8.49%) (**Tableau V.1**).

La teneur en protéines dépend des conditions agro-climatiques du développement de la plante notamment l'alimentation en eau (sécheresse, irrigation), la fertilisation azotée et des variétés cultivées.

V.1.4. Teneur en matière grasse

Le dosage de la matière grasse a pour but de déterminer la proportion des lipides totaux que renferme l'avoine analysée et ses conditions de conservation.

Dans notre cas, les taux de lipides trouvés dans la farine d'avoine des deux variétés Lakhal et Gharbi sont respectivement de 5.57 % et 5.69 %.

Il est intéressant de noter que de toutes les céréales, l'avoine est la plus riche en lipides, principalement en acides gras insaturés, donc bénéfiques pour l'organisme (**FDA**).

V.1.5. Teneur en cellulose brute

Les résultats obtenus montrent que la teneur en cellulose brute de la variété Lakhal est de 15.94% qui est significativement supérieure à 10.78% pour la variété Gharbi (**tableau V.1**). Ces valeurs sont inférieures à celle trouvée par [78].

La fraction indigestible ou cellulose brute que contient les céréales, notamment le son d'avoine joue un rôle prépondérant dans la réduction de certaines pathologies digestives (constipation, diverticulose) et de certains troubles métaboliques tels que le diabète et l'obésité [79 ; 80].

V.2. Le rendement d'extraction

Le BG obtenu des deux variétés d'avoine Gharbi et Lakhal est représenté sur (**figure V.2**).

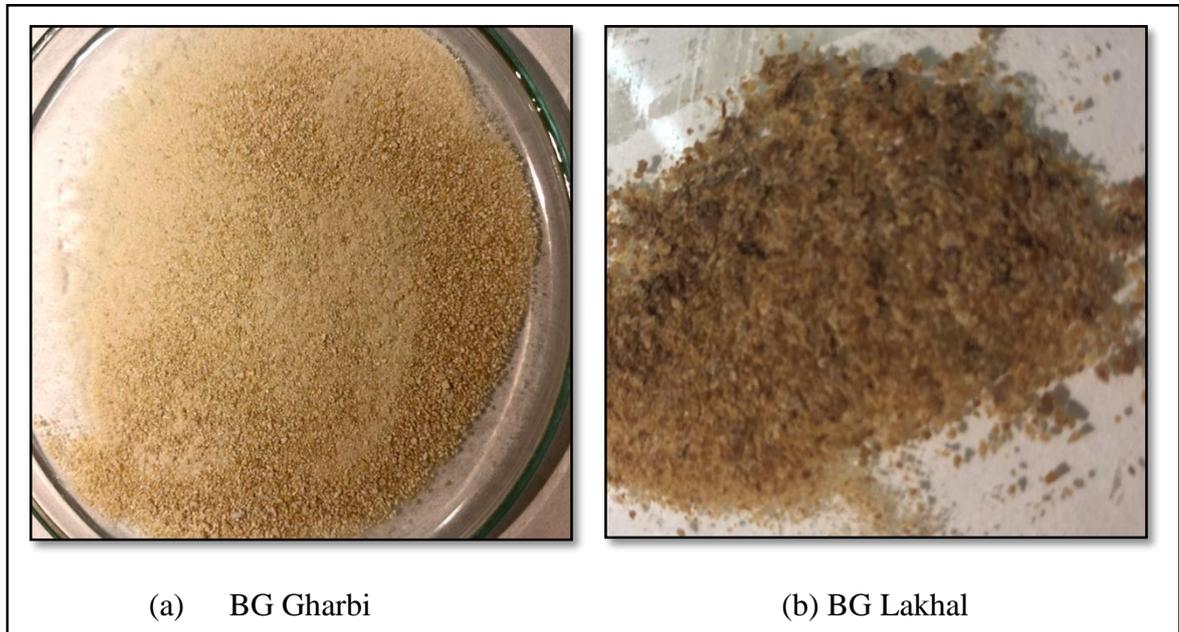


Figure V.2 : Extrait de BG des deux variétés d'avoine.

Le **tableau V.2** résume les résultats du rendement d'extraction des BGs, exprimés en pourcentage (%) par rapport au poids sec de la farine d'avoine étudiée.

Tableau V.2: Résultats du rendement de l'extraction

Variété	Gharbi	Lakhal
(Rendement / farine) %	13,631	14,2598

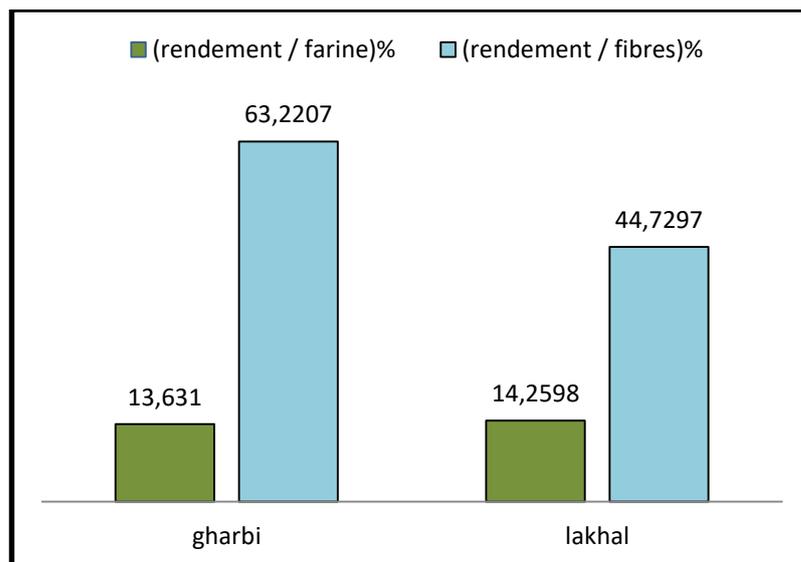


Figure V.3 : Résultats de rendement d'extraction du BG

La **figure V.3** montre le rendement d'extraction de BG par rapport à la farine des variétés Gharbi et Lakhal, ils sont respectivement de (13.631%) et (14.2598%). Ce dernier est important comparativement à celui de la variété Gharbi. Ce taux d'extraction élevé est dû, d'une part à l'efficacité du protocole d'extraction suivi d'autre part à la richesse de l'avoine étudiée en BG.

La **figure V.3** montre aussi que la variété Gharbi (63.2207%) contient plus de BG par rapport à la variété Lakhal (44.7029%), ces valeurs représentent le rendement d'extraction de BG par rapport aux fibres totales.

V.3. Identification et caractérisation des extraits

V.3.1. Identification par infrarouge (FTIR)

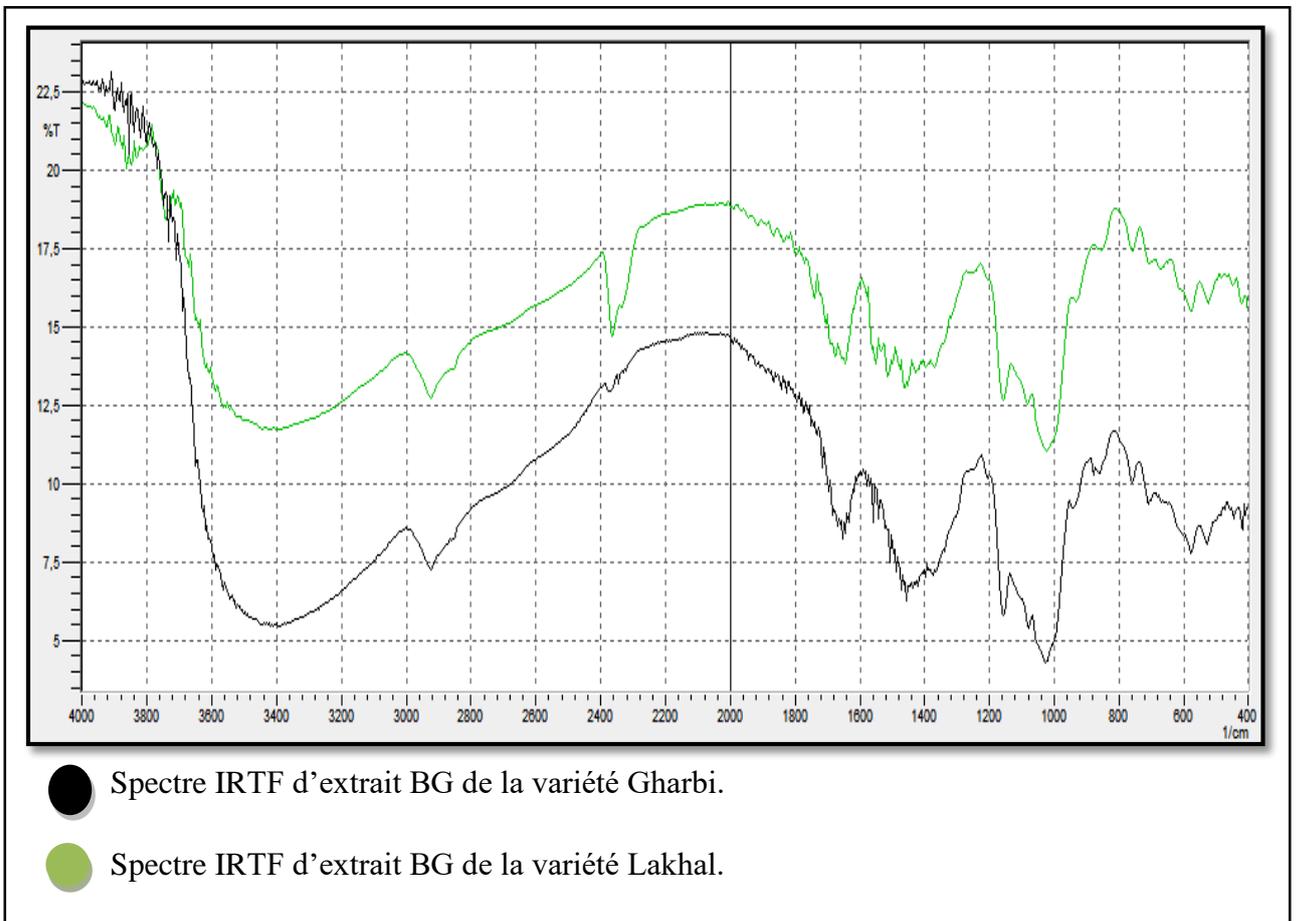


Figure V.4 : Spectre FTIR d'extrait de Beta-glucane.

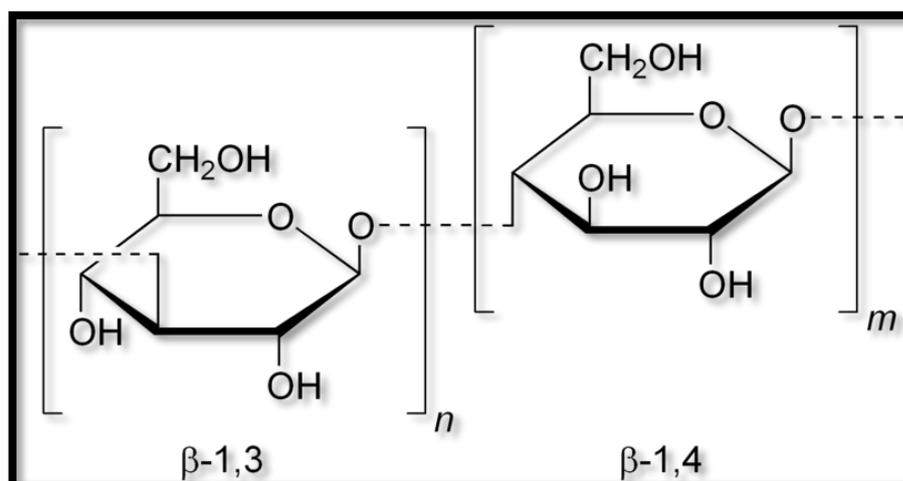


Figure V.5 : Structure chimique du Beta-glucane.

Une étude de la structure chimique du Bêta-glucane a été réalisée dans une gamme de nombres d'ondes 4000 à 400 cm^{-1} . Les principaux pics observés sont regroupés dans les tableaux ci-dessous.

Tableau V.3 : Identification des pics FTIR du BG Gharbi.

Les groupements	Fréquence (cm^{-1})
-OH	3382.91
-CH ₂	2923.88
C-C	705.90 et 1157.21
C-O	1076.21 et 1157.21

Un pic localisé à 3382.91 cm^{-1} est attribué à un groupement hydroxyle O-H des groupes phénoliques. Le pic d'étirement CH₂ du groupe méthyle (alcanes) se situe à 2923.88 cm^{-1} . Un ensemble de pics visible dans la région entre 705.90 cm^{-1} et 1157.21 cm^{-1} est attribué à la vibration de la liaison C-C du cycle benzénique. Ainsi qu'une bande de pics de 1076.21 cm^{-1} et 1157.21 cm^{-1} montrent une présence d'une forme alcool grâce à la vibration de la liaison C-O.

Tableau V.4 : Identification des pics FTIR du BG Lakhal.

Les groupements	Fréquence (cm^{-1})
-OH	3390.63 et 3417.63
-CH ₂	2927.74
C-C	759.9 et 1157.21
C-O	1080.06 et 1157.21

Deux pics visibles dans la région de 3390.63 cm^{-1} et 3417.63 cm^{-1} sont attribués à la liaison O-H. Le pic à 2927.74 cm^{-1} est identique à la vibration de la liaison CH₂ du groupement méthylène. L'ensemble des pics localisés entre 759.9 cm^{-1} et 1157.21 cm^{-1} sont relatifs à la vibration de la liaison C-C du cycle benzénique. Par ailleurs, les pics situés entre 1080.06 cm^{-1} et 1157.21 cm^{-1} sont liées à la vibration de la liaison C-O.

D'après les résultats trouvés, la structure du BG des deux variétés a été confirmée et interprétée par la méthode de (Yun *et al.*) [81].

V.3.2. La solubilité

Les résultats de l'influence de la température sur la solubilité du BG dans l'eau pendant 1h d'agitation sont mentionnés dans le tableau ci-dessous :

Tableau V.5 : la solubilité du BG dans différente température.

La température °C	ambiante	20	60	80
solubilité	Insoluble	Peu soluble	Peu soluble	Solubilité totale

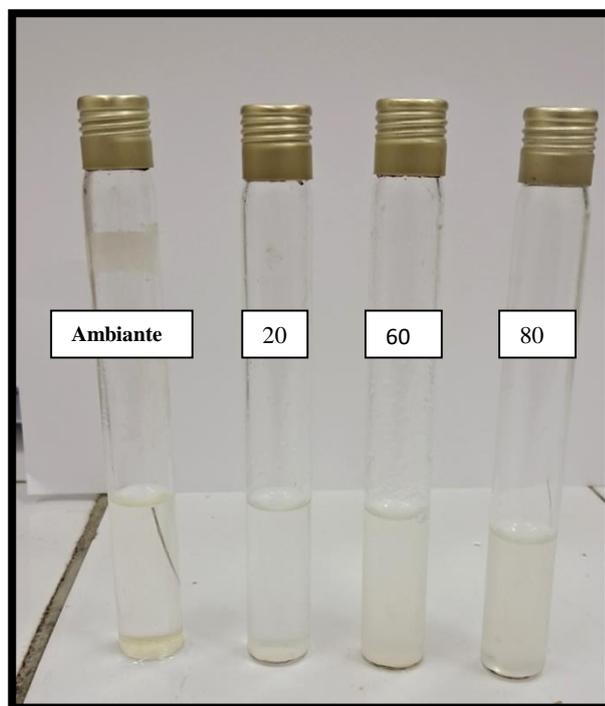


Figure V.6 : La solubilité du BG à différentes températures (photo originale).

Les résultats obtenus montrent que le Beta-glucane est soluble dans l'eau chaude à $T=80^{\circ}\text{C}$, insoluble à température ambiante et peu soluble à $T = 20^{\circ}\text{C}$ et 60°C , comme illustré dans la **figure V.6**.

La plupart des BGs dans l'avoine se trouvent dans la couche interne de la paroi cellulaire qui est entourée d'une couche externe cellulosique et hémicellulosique moins soluble dans l'eau. C'est pour cela, il faut que la température du solvant soit élevée pour la solubilité totale de ce dernier.

V.3.3. Activité anti-oxydante

L'activité antiradicalaire des extraits de BG Lakhali et Gharbi a été déterminée par la méthode de DPPH. Les résultats obtenus sont résumés dans le (tableau V.6) et représentés dans la (figure V.7).

Tableau V.6 : Les résultats de l'activité antiradicalaire de BG Lakhali et BG Gharbi.

Variété	BG Lakhali		BG Gharbi	
	ABS ₁	Activité antiradicalaire (%)	ABS ₂	Activité antiradicalaire (%)
0,1	0,474	24,881	0,528	16,323
0,2	0,485	23,138	0,465	26,307
0,3	0,413	34,548	0,366	41,997
0,4	0,388	38,510	0,238	62,282
0,5	0,285	54,834	0,227	64,025
0,6	0,241	61,807	0,214	66,086
Contrôle	0,631	/	0,631	/

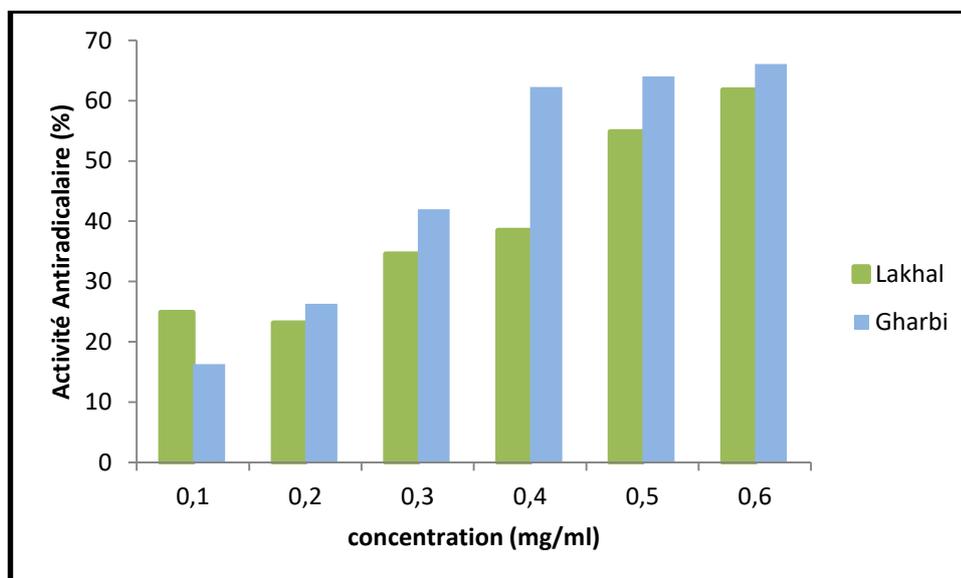


Figure V.7 : Comparaison de l'activité antiradicalaire des BG Lakhali et Gharbi.

D'après la **figure V.7**, les pourcentages d'inhibition du radical DPPH augmentent en fonction de la concentration des deux extraits, cette augmentation s'appelle une relation de corrélation directe.

Les résultats du **tableau V.6** obtenus montrent que les extraits des deux variétés d'avoine révèlent une activité antiradicalaire. L'extrait de BG Gharbi a exercé une activité maximale de 66.086 % à la concentration de 0.6 mg/ml. Cet effet est meilleur que celui de l'extrait de BG Lakhal (61.807 %).

➤ Détermination de l'IC50

L'IC50 est inversement liée à la capacité antioxydante d'un composé, car elle exprime la quantité d'antioxydant nécessaire pour diminuer la concentration du radical libre de 50%. Plus la valeur d'IC50 est basse, plus l'activité antioxydante d'un composé est élevée. La concentration de l'échantillon essentielle pour inhiber 50% du DPPH radicalaire a été calculée par la régression linéaire des pourcentages d'inhibition calculés en fonction des différentes concentrations d'extraits préparés.

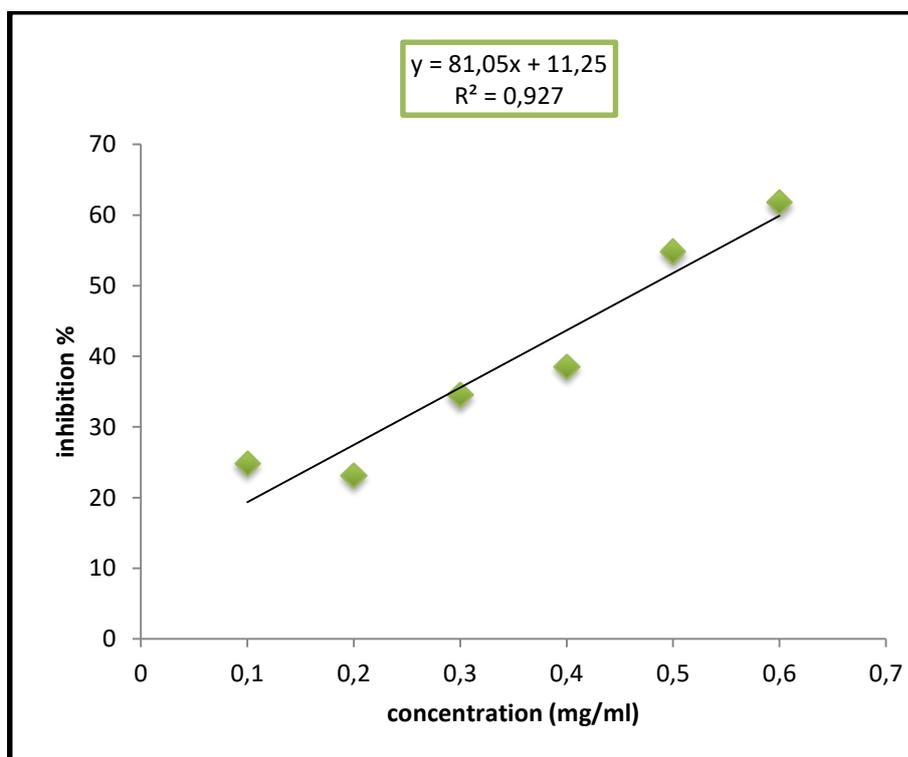


Figure V.8: Pourcentage d'inhibition du radical libre en fonction des concentrations du BG Lakhal.

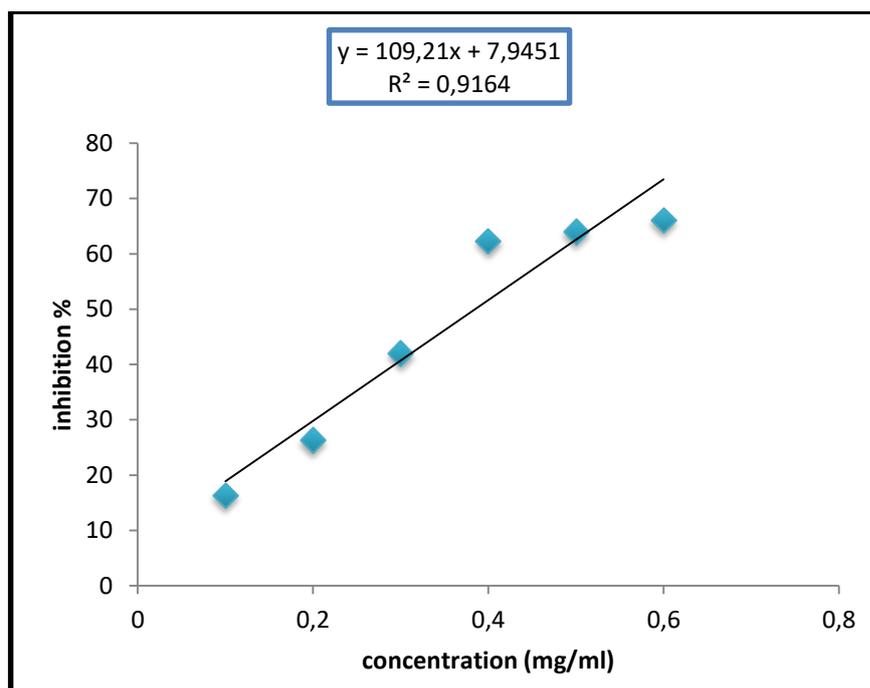


Figure V.9: Pourcentage d'inhibition du radicale libre en fonction des concentrations du BG Gharbi.

Les résultats présentés dans la figure ci-dessus montrent que les deux extraits testés possèdent une excellente activité anti-radicalaire avec une IC50 de l'ordre de 0,478 mg/ml pour le BG Lakhal et de 0,385 mg/ml pour le BG Gharbi, mais inférieures à celle de l'acide ascorbique utilisé comme référence dont l'IC50 est de 0,01318 mg/ml.

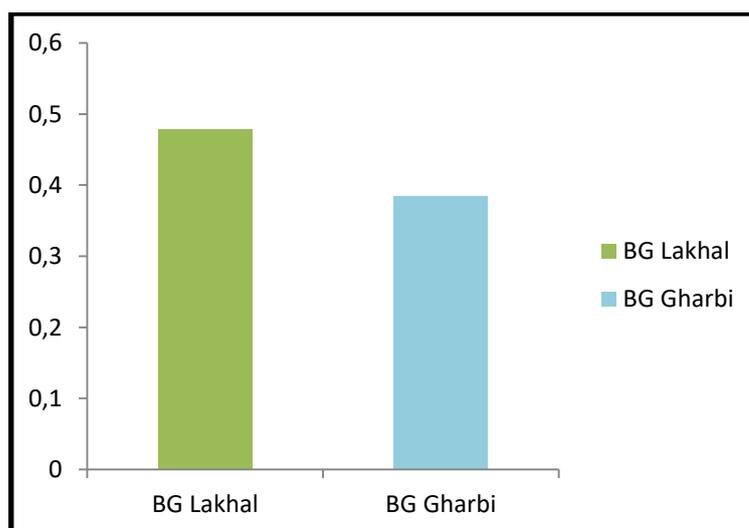


Figure V.10 : Les résultats d'IC50 de BG Lakhal et BG Gharbi.

V.3.4. Activité antibactérienne

Les résultats de l'activité antibactérienne des extraits du BG des deux variétés sont regroupés avec ceux des formulations (**voir titre 5.8**).

V.4. Formulation de la boisson

Le **tableau V.7** Représente la matrice des 11 expériences ainsi que les résultats obtenus après la formulation. Les facteurs étudiés sont exprimés en valeurs codées.

Tableau V.7 : Matrice du plan d'expérience et les réponses enregistrées.

Expérience N°	Amidon	Lécithine de soja	Stabilité (mv)	Viscosité (Pa.s)
1	-1	-1	15,4	102
2	1	-1	41,6	1,46
3	-1	1	49	0,905
4	1	1	41,1	90,5
5	-1	0	16,9	69,2
6	1	0	36,1	10,34
7	0	-1	31,9	3,7
8	0	1	37,2	62,5
9	0	0	18,8	70,6
10	0	0	31,8	60,874
11	0	0	22,8	68,1

V.4.1. Validation du modèle

Pour valider le modèle obtenu dans le domaine étudié, Il faut tout d'abord vérifier l'adéquation du modèle mathématique, puis l'analyse des coefficients du modèle qui nous permettra de déterminer les facteurs significatifs ainsi que les interactions pour pouvoir

écrire l'équation du modèle. Et enfin l'analyse de la variance qui validera ou non le modèle.

V.4.2. Adéquation de modèle

L'adéquation est le degré d'approximation des résultats expérimentaux et ceux du modèle. La qualité du modèle polynomial adapté est appréciée par le coefficient de détermination multiple (R^2) et le Q^2 qui représente la capacité du modèle de prédire la réponse (appelé aussi R^2 prédictif). Pour avoir un bon ajustement, R^2 et Q^2 doivent être proche de l'unité [82].

A. La stabilité

La **figure V.11** 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 $R^2=0.909$ très acceptable et $Q^2 = 0.655$ acceptable, ce qui confirme la validité du modèle.

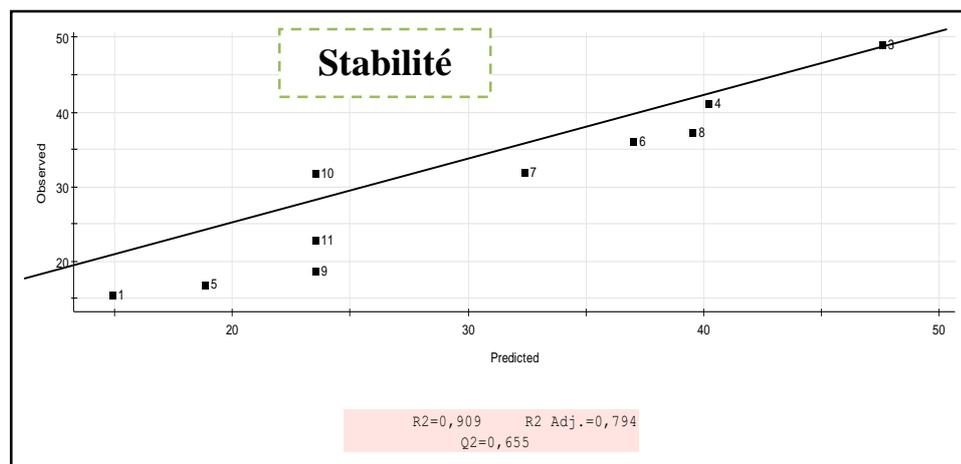


Figure V.11 : Représentation graphique des valeurs observées en fonction des valeurs estimées de la stabilité.

B. La viscosité

La **figure V.12** donne La même distribution remarquée pour la viscosité avec $R^2 = 0.987$; $Q^2=0.856$. Les valeurs élevées de ces coefficients indiquent une très bonne qualité descriptive du modèle. Ce qui confirme la validité du modèle.

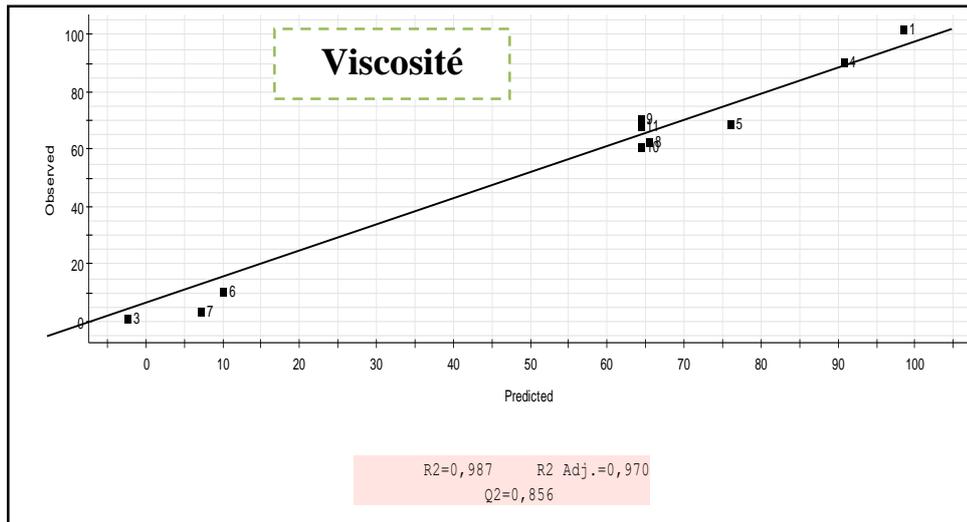


Figure V.12 : Représentation graphique des valeurs observées en fonction des valeurs estimées de la viscosité.

V.4.3. Facteurs significatifs

On dit qu'un facteur est significatif lorsque la barre verticale (son intervalle de confiance) ne coupe pas l'axe horizontal.

A. La stabilité

Au seuil de signification de 5%, les facteurs significatifs pour la stabilité sont le terme linéaire amidon et quadratique de la lécithine de soja ainsi que l'interaction (amidon /lécithine de soja).

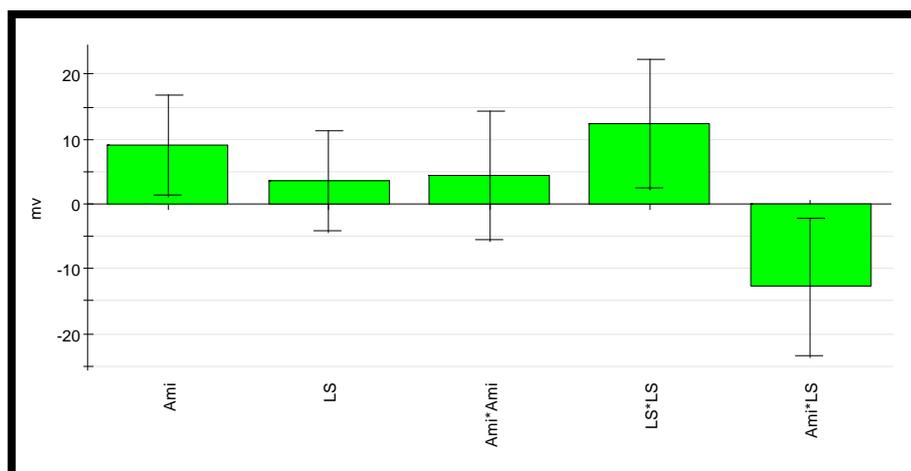


Figure V.13 : Histogramme de l'influence des coefficients sur la stabilité.

B. La viscosité

Au seuil de signification de 5%, les facteurs significatifs pour la viscosité sont tous les termes linéaire et quadratique de l'amidon et lécithine de soja ainsi que l'interaction (amidon /lécithine de soja).

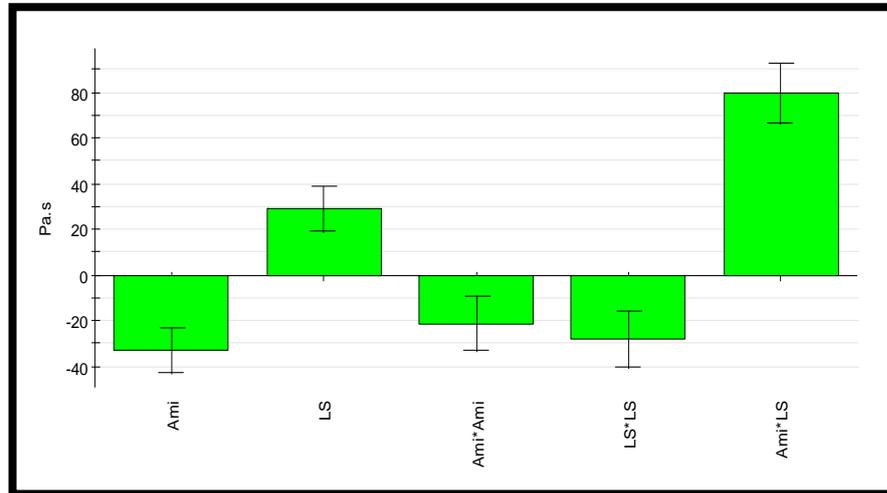


Figure V.14 : Histogramme de l'influence des coefficients sur la viscosité.

V.4.4. Analyse de la variance

L'analyse de la variance (ANOVA) permet d'étudier l'importance des différents facteurs utilisés dans le modèle et l'influence de chaque facteur sur les réponses.

Les analyses de la variance du modèle de régression pour les deux réponses montrent deux valeurs P et F des effets principaux. Ces deux valeurs indiquent que le modèle est significatif. C'est-à-dire au moins un facteur a un effet significatif sur la réponse.

Tableau V.8 : Analyse de la variance.

Les facteurs	F	P	Signification
La stabilité	7,94748	0,033	Significatif
La viscosité	59,008	0,001	Significatif

On remarque que les deux réponses stabilité et viscosité ont une $P = 0,033$; $F = 7,94748$ et $P = 0,001$; $F = 59,008$ respectivement donc elles sont significatives puisqu'elles vérifient les deux conditions de $P < 0,05$ et $F > 1$.

V.4.5. Modélisation des réponses à l'aide du logiciel Modde 6

Les valeurs de R2 et Q2 en fonction des réponses sont montrées dans la figure suivante :

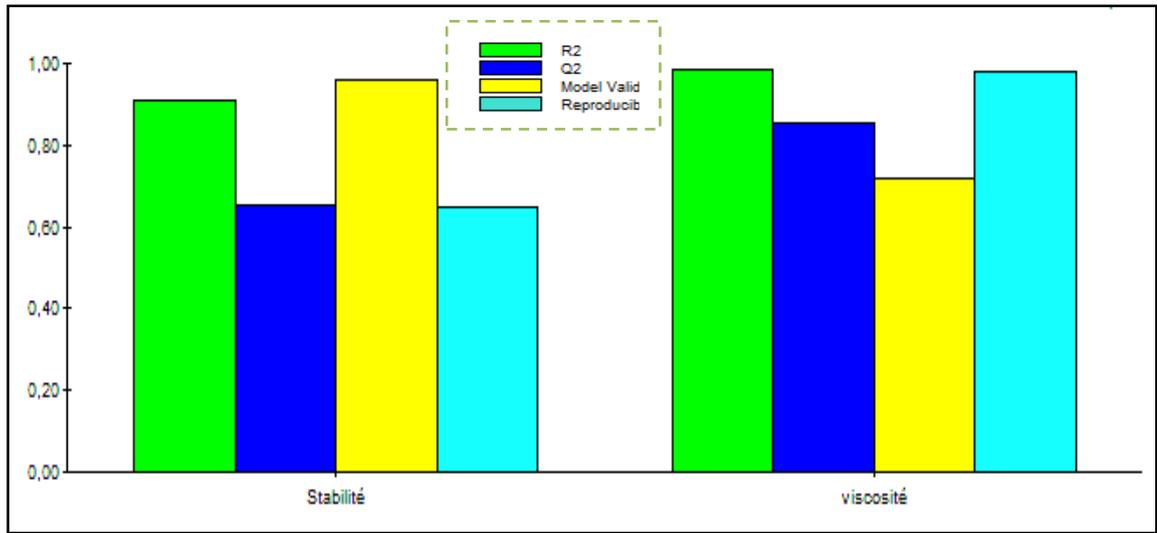


Figure V.15 : Valeurs de R2 et Q2 en fonction des réponses.

Plus les valeurs des coefficients R2 et Q2 sont proches de l'unité, plus le modèle est bon et il permet de prédire la réponse. Dans notre cas les valeurs de ces deux coefficients sont acceptables pour la viscosité et la stabilité comme le montre la **figure V.15**. La valeur de R2 est proche de l'unité et la valeur de Q2 est supérieure à 0.5 pour toutes les réponses étudiées.

A. Modélisation de la stabilité

La stabilité est décrite par l'équation (V.1) en éliminant les facteurs non significatifs, elle est en fonction du terme linéaire amidon et quadratique de la lécithine de soja ainsi que l'interaction (amidon /lécithine de soja).

$$\text{Stabilité} = 25.76 + 9.15 \cdot \text{Ami} + 12.4 \text{Ls}^2 - 12.7 \cdot \text{Ami} \cdot \text{Ls} \quad (\text{V.1})$$

D'après cette équation, nous remarquons que l'amidon influe légèrement, la lécithine de soja a une influence positive sur la stabilité, alors que l'amidon avec la lécithine a une influence négative sur la stabilité.

La **figure V.16** présente la surface de réponse de la stabilité en fonction de l'amidon et de la lécithine de soja, nous constatons que les meilleurs résultats pour la stabilité sont obtenus au niveau élevé de l'amidon et la lécithine de soja.

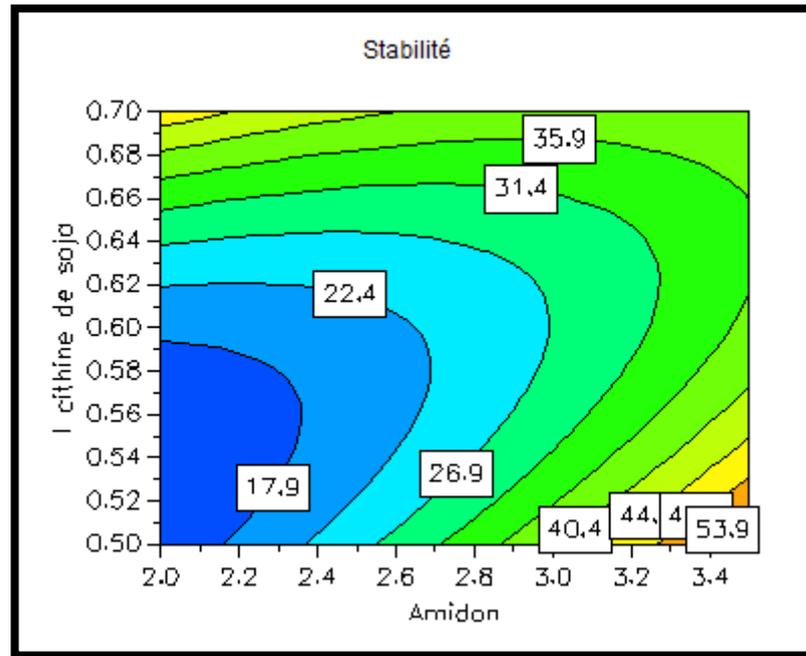


Figure V.16 : Courbe iso-réponse de la stabilité en fonction de la lécithine de soja et de l'amidon.

B. Modélisation de la viscosité

La viscosité est décrite par l'équation (V.2) en éliminant les facteurs non significatifs, elle est en fonction du terme linéaire amidon et quadratique de la lécithine de soja ainsi que l'interaction (amidon /lécithine de soja).

$$\text{Viscosité} = 42.93 - 33 \cdot \text{Ami} + 29.1 \cdot \text{Ls} - 21.4 \text{Am}^2 - 28.3 \text{Ls}^2 + 79.7 \cdot \text{Ami} \cdot \text{Ls} \quad (\text{V.2})$$

D'après cette équation, nous remarquons que l'amidon et la lécithine de soja ont une influence, l'une est négative et l'autre positive respectivement sur la viscosité, alors que l'amidon avec la lécithine de soja a une bonne influence sur la viscosité.

La **figure V.17** présente la surface de réponse de la viscosité en fonction de l'amidon et de la lécithine de soja, nous constatons que les meilleurs résultats pour la viscosité sont obtenus aux niveaux bas et niveaux élevés de l'amidon et la lécithine de soja respectivement.

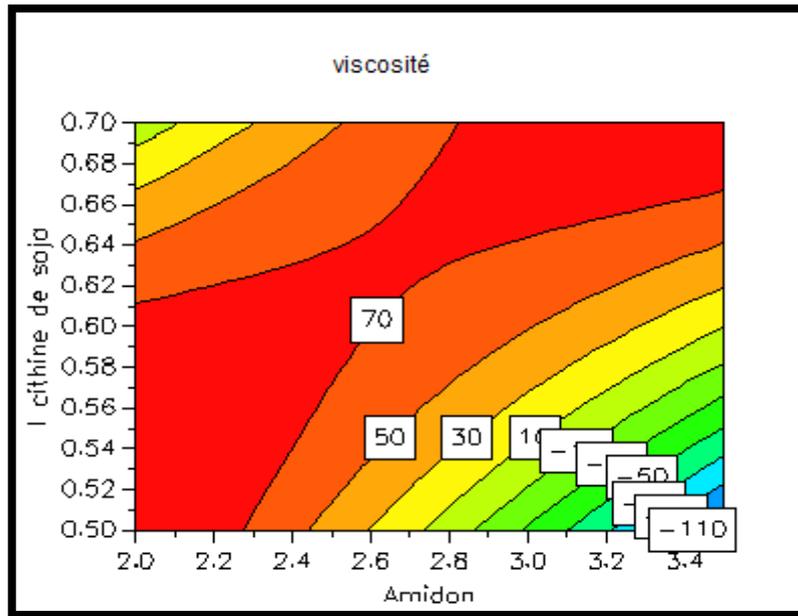


Figure V.17 : Courbe iso-réponse de la viscosité en fonction de la lécithine de soja et de l'amidon.

V. 5. Caractérisation de la boisson

V.5.1. Les paramètres organoleptiques

Les propriétés organoleptiques des boissons montrent que la couleur des deux formulations est blanche, un aspect peu visqueux et enfin une odeur agréable.

V.5.2. Mesure de la densité

Les densités correspondantes aux deux formulations sont de 1.12. Les résultats obtenus nous montrent que la densité des deux formulations est supérieure à celle de l'eau, ce qui est conforme aux exigences des propriétés physicochimiques d'une boisson.

V.5.3. Mesure du pH

Le pH est un facteur important qui affecte la stabilité du produit. L'avoine peut subir une dégradation en solution aqueuse dans certaines conditions du pH.

Le pH des boissons a été déterminé à l'aide d'un pH mètre. Les pH correspondants aux deux formulations sont de 4.67 et 4.58 pour Gharbi et Lakhali respectivement. Ces valeurs sont conformes aux normes du pH des boissons qui doit être entre 4.33 ± 0.10 et 5.41 ± 0.01 .

V.5.4. Mesure de la stabilité

Pour l'étude de la stabilité, on utilise 2 flacons de la boisson dans deux conditions de température différentes. La stabilité a été mesurée à des intervalles d'une fois par semaine pendant un mois pour les deux variétés Gharbi et Lakhali. Les résultats obtenus montrent que les formulations à 4°C sont plus stables par rapport à 25°C selon les normes de la **figure V.18**, ça veut dire que les boissons qui sont stockées au réfrigérateur à 4°C sont mieux conservées.

Tableau V.9: Les potentiels Zêta des formulations pendant 4 semaines

Conditions	Température			
	4°C		25°C	
Variétés	Gharbi	Lakhal	Gharbi	Lakhal
Semaine 1	-54.7	69.4	42.5	37.2
Semaine 2	-55.5	44.2	-32.0	31.6
Semaine 3	66.0	-96.2	42.8	16.1
Semaine 4	85.1	73.7	29.2	-23.7

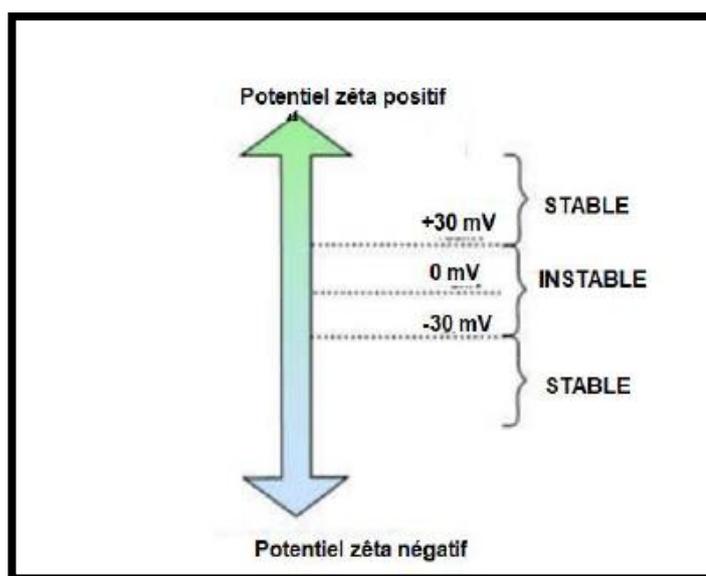


Figure V.18 : Norme de référence du potentiel zêta de DLS HORIBA.

V.5.5. Etude du comportement rhéologique

L'objectif de ce test est de caractériser le comportement rhéologique des formes liquides dans le domaine linéaire et sous écoulement. Cette partie concerne la caractérisation de la viscosité des boissons des deux variétés (**figure V.19**).

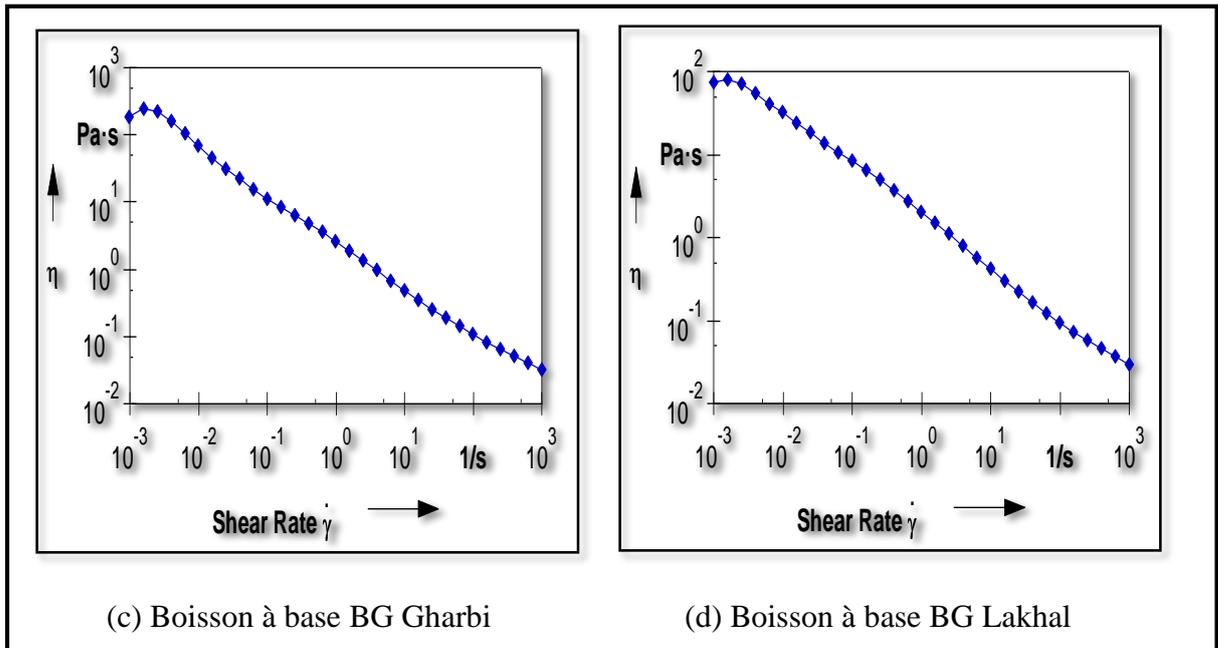


Figure V.19 : La variation de la viscosité (η) des deux formulations en fonction de la vitesse de cisaillement $\dot{\gamma}^*$ (S-1).

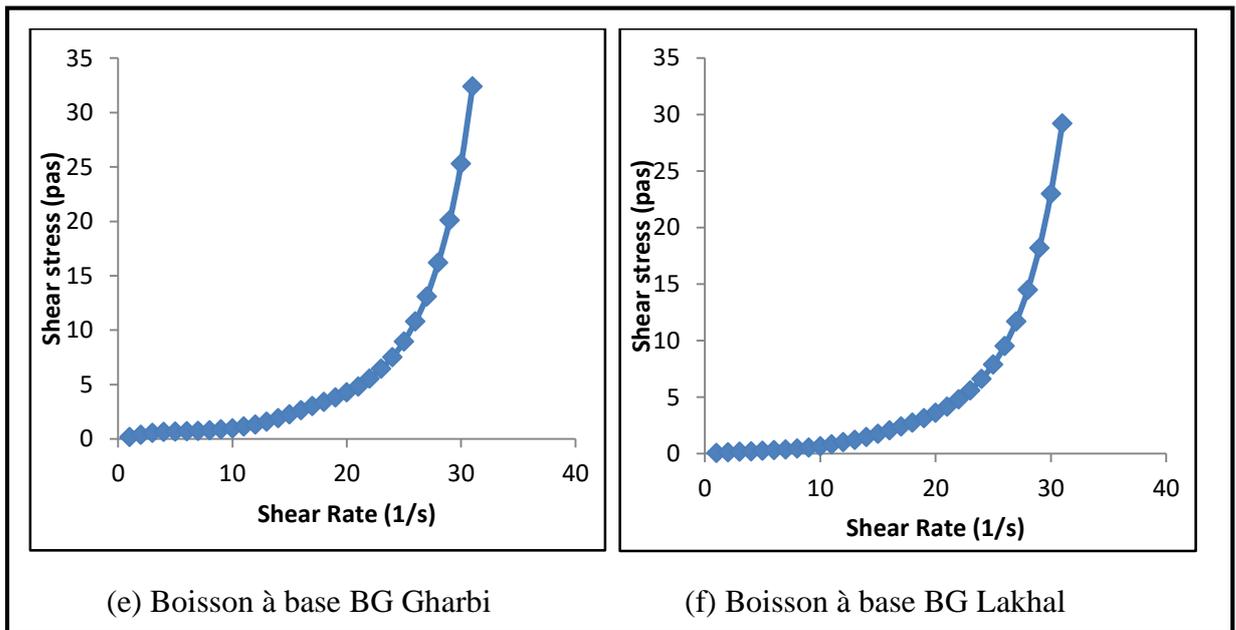


Figure V.20 : La variation de la contrainte de cisaillement (τ) des deux formulations en fonction de la vitesse de cisaillement $\dot{\gamma}^*$ (S-1).

Les **figures V.20** présentent la variation de la viscosité et la contrainte de cisaillement de la boisson en fonction de la vitesse de cisaillement. On remarque que les deux boissons ont presque les mêmes courbes d'écoulements.

La viscosité diminue lorsque la vitesse de cisaillement augmente. Du même, la contrainte de cisaillement augmente au fur à mesure avec l'augmentation de la vitesse de cisaillement. Ces variations prouvent que les boissons ont un comportement non-Newtonien (rhéofluidifiant).

V.5.6. Mesure du degré Brix

Le degré Brix est la mesure de la matière sèche soluble, **exprimé en pourcentage**.

Les deux formulations édulcorées montrent un degré Brix de 1.2%, c'est un bon signe pour les patients diabétiques car la *Stévia* possède un pouvoir sucrant supérieur à celui du saccharose. De plus la *Stévia* est très faible en glucides et possède un index glycémique égal à 0, c'est-à-dire qu'elle ne produit aucune modification du taux de glycémie (sucre dans le sang). Pour ce fait la *Stévia* est faiblement absorbée au niveau des intestins et il a été démontré qu'elle n'est pas capable de produire un pic de glycémie (contrairement au sucre). Cependant, l'effet sur l'insuline est controversé si l'on compare des études in vitro et ce qui se passe in vivo. Par ailleurs aucune différence significative dans la valeur du degré du Brix n'a été observée entre les deux formulations.

V.5.7. Analyse microscopique

Les deux formulations de la boisson ont été examinées sous un microscope optique avec un grossissement de 40 pour étudier la structure globulaire (**figure V.21**).

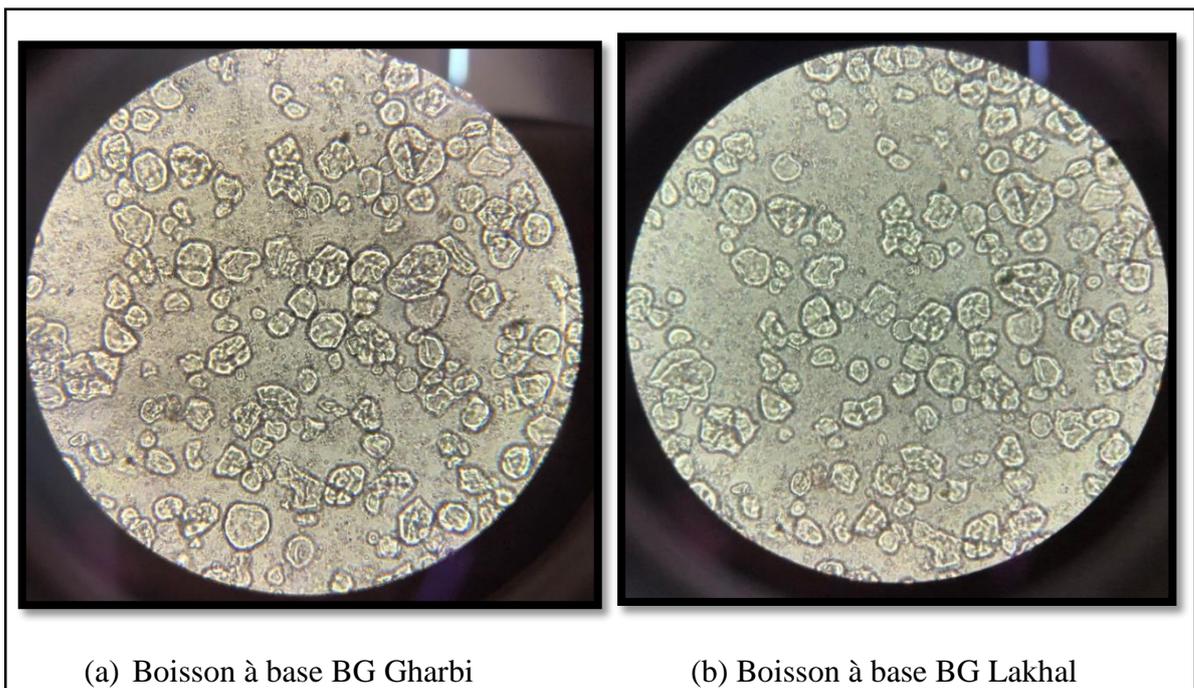


Figure V.21 : Images obtenues au microscope optique à Grossissement×40 des deux formulations.

La boisson formulée présente une bonne consistance due à une précipitation plus rapide dans les gouttelettes ce qui donne un taux d'encapsulation plus élevé [83 ; 84]. La **figure V.21** montre la présence des globules encapsulés par la lécithine de soja qu'elle a un effet d'encapsulation et émulsifiant et augmente la stabilisation de la formulation.

La détermination de l'efficacité d'encapsulation peut être réalisée d'une manière indirecte par le dosage de la formulation et dépend de son affinité avec le polymère constitutif des particules [82]. Dans ce cas, le polymère de notre formulation est le Béta-glucane.

Donc l'action produite dans la formulation c'est l'encapsulation du BG pas la lécithine de soja.

V.5.8. Activité antibactérienne

Les figures suivantes montrent les réactions des extraits avec les différentes bactéries.

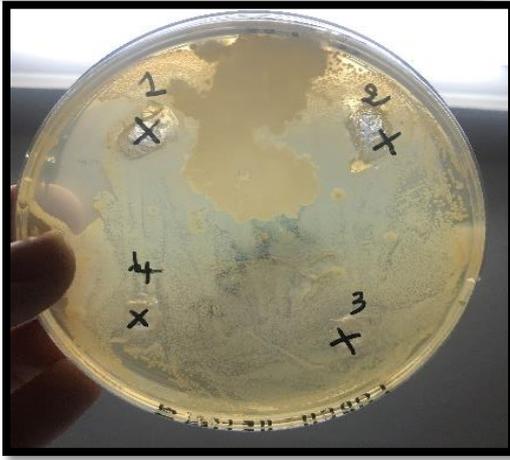


Figure V.22 : Bactérie *staphylococcus aureus*.



Figure V.23 : Bactérie *Escherichia coli*.

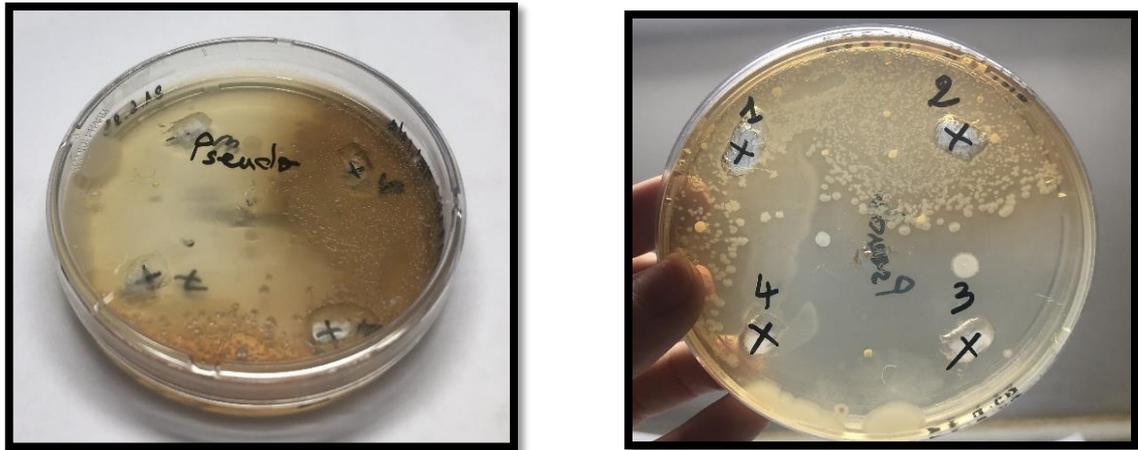


Figure V.24 : Bactérie *Pseudomonas aeruginosa*.

Tableau V.10 : Résultats de l'activité antibactérienne.

Bactéries	Extrait 1 (BG.G)	Extrait 2 (BG.L)	Extrait 3 (Formulation G)	Extrait 4 (Formulation L)
<i>Staphylococcus aureus</i>	±	±	+	+
<i>Escherichia coli</i>	-	+	+	+
<i>Pseudomonas aeruginosa</i>	±	-	+	+

+ : Présence d'une activité antibactérienne.

- : Absence d'activité antibactérienne.

± : Activité légère, plus ou moins importante.

Le développement de produits naturels possédant une activité antibactérienne s'avère nécessaire et utile [85].

L'activité antimicrobienne contre les micro-organismes analysés dans la présente étude a été évaluée qualitativement en fonction de la présence ou l'absence de zones d'inhibition.

Les résultats révèlent que des niveaux d'activité antibactérienne importants ont été enregistrés par les formulations Gharbi et Lakhali contre les bactéries Gram (+) et Gram (-), *staphylococcus aureus*, *Escherichia coli*, *Pseudomonas aeruginosa*.

Pour les extraits de BG. G et BG. L, l'activité est légèrement moins importante que celle détectée contre la bactérie *staphylococcus aureus*. En effet, La concentration du BG.G et BG.L n'était pas assez grande, ce qui fait que si la concentration de ces derniers

augmente, il y'aura une bonne activité. C'est le même cas pour l'extrait 1 contre les bactéries Gram (-).

Une absence d'activité antibactérienne pour les deux extraits 1 et 2 contre les bactéries Gram (-) *Escherichia coli* et *Pseudomonas aeruginosa* respectivement, le BG.G et le BG.L n'ont montré aucune activité en raison de leur faible solubilité dans l'eau, et les résultats peuvent être liés à la dégradation de BG conduisant à l'exposition de ses groupes hydroxyle actifs et à la réduction de la liaison hydrogène intermoléculaire [86].

Conclusion

Conclusion générale

Du fait des diverses vertus nutritionnelles et thérapeutiques de l'avoine liée à ses fortes teneurs en fibres alimentaires. Nous nous sommes intéressés à la formulation d'une boisson diététique à base du bêta-glucane extrait de deux variétés d'avoine Algérienne Gharbi et Lakhal.

D'après les données de l'enquête ethnobotanique réalisée, nous avons constaté la bonne réputation et la connaissance des bienfaits de l'avoine par la population Algérienne.

Les analyses physicochimiques ont montré la bonne qualité des deux variétés étudiées vu leurs valeurs importantes en cendres, en protéines, en matière grasse et surtout en fibres.

Le rendement d'extraction important du bêta-glucane confirme la richesse de l'avoine Algérienne en ce dernier. Les analyses réalisées ont montré la pureté, une bonne activité antibactérienne sur 3 souches et une excellente activité antioxydante vis-à-vis du radical DPPH avec des IC50 de 0.478 µg/ml pour la variété Lakhal et 0.385 µg/ml pour la variété Gharbi des extraits obtenus.

Pour la formulation de notre boisson, nous avons utilisé le plan d'expériences dont l'objectif est d'optimiser les niveaux des facteurs étudiés pouvant influencer les caractéristiques de cette dernière, cette méthodologie nous a permis une meilleure planification des essais de formulation et l'obtention d'un maximum d'informations pour un minimum d'expériences. Par conséquent 11 formulations ont été réalisées. La caractérisation de chaque formulation par la mesure de la viscosité et de la stabilité a été effectuée.

Les résultats d'analyse du modèle mathématique montrent clairement qu'il est bien ajusté pour la viscosité et la stabilité. La modélisation des réponses par le logiciel Modde 6 nous a permis de constater que les meilleurs résultats pour la viscosité et la stabilité sont obtenus aux niveaux élevés de la lécithine de soja et de l'amidon de maïs. La solution optimisée fournie par le logiciel a été choisie par rapport aux normes de la pharmacopée.

Après l'optimisation de la formulation, la boisson a été caractérisée par la détermination de ses propriétés organoleptiques et physico-chimiques dont la densité, la

stabilité (plus stable à 4°C), la viscosité (comportement non-Newtonien), le pH, le degré Brix, et l'analyse microscopique.

L'évaluation des activités biologiques de la boisson des deux variétés a montré une excellente activité antioxydante et antibactérienne sur 3 souches.

Ces résultats montrent la bonne qualité et les effets nutritionnels et thérapeutiques que contient l'avoine Algérienne dont l'utilisation dans l'industrie pharmaceutique pourrait être très prometteuse.

Une boisson intéressante diététique pourrait régler les problèmes liés à la pénurie du lait et qui pourrait être améliorée davantage.

Cette recherche préliminaire n'est qu'une goutte dans un grand océan, beaucoup d'interrogations sont restées sans réponses et aussi plusieurs axes ont suscités notre curiosité

On suggère de réaliser une caractérisation plus approfondie de l'avoine et utiliser ces différents composants à savoir les fibres et les protéines dans des formulations afin de contribuer à la sécurité du citoyen

Annexes

Annexe N° 1

Questionnaire de l'enquête ethnobotanique

Sur l'avoine (ecchoufane)

1. Age ?
 - < 20
 - [20-40]
 - [40-60]
 - > 60
2. Sexe ?
 - féminin
 - masculin
3. zone d'habitation ?
 - Alger
 - Blida
 - Tipaza
4. niveau intellectuel ?
 - analph
 - E.P
 - Secondaire
 - Universitaire
5. Situation familiale ?
 - Marié(e) avec enfants
 - Marié(e) sans enfants
 - Célibataire
6. Régime alimentaire ?
 - Alimentation saine et équilibré
 - Régime alimentaire particulier (véganisme...)
 - Pas de régime particulier
7. Activité sportive ?
 - Oui
 - Non
 - Des fois
8. Connaissez-vous l'avoine
 - Oui
 - Non
9. Origine de l'information ?
 - Réseaux sociaux
 - Des amis et famille
 - Autres
10. Avis sur l'avoine
 - Bénéfique
 - Peu bénéfique
 - Tout dépend de la raison de leur prise
11. Utilisation ?
 - Pharmaceutique
 - Alimentaire
 - Cosmétique
 - Autres
12. Nature d'avoine utilisée ?
 - Céréales
 - Farine
 - Flocon
13. Consommation par ?
 - Automédication
 - Conseil d'un ami
 - A cause les opinions des gens
14. Raisons de consommation ?
 - Compléter un régime alimentaire habituel

- Améliorer des troubles de santé générale
- Bien-être

- Oui
- Non
- Cela dépend de son efficacité

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

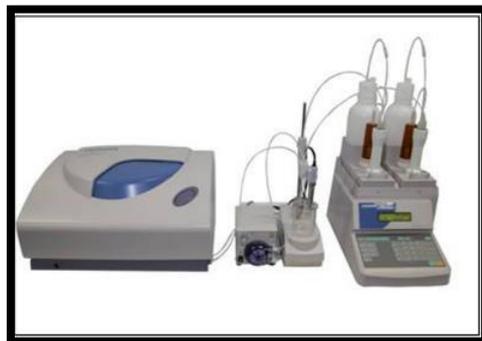
Annexe N°2



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



Un pycnomètre de 10 ml



DLS (HORIBA-SCIENTIFIC)



Le spectrophotomètre Shimadzu FTIR-8900



Un pH-mètre



Un rhéomètre

Références
Bibliographiques

Références Bibliographiques

[1] **Cherfia, R. 2010.** Etude de la variabilité morpho-physiologique et moléculaire d'une collection de blé dur algérien (*Triticum durum* Desf.).

[2] **Julio Isidro-Sánchez, Elena Prats, Catherine Howarth, Tim Langdon and Gracia Montilla-Bascón(2020)** Genomic Approaches for Climate Resilience Breeding in Oats.Chapter IV;137-141.

[3] **Sirodot.g-e., 2016.** L'avoine, description, classification, Etude du grain des variétés Françaises et Etrangères, culture.

[4] **Dongowski, G., Huth, M., Gebhardt, E., Flamme, W. (2002).** Dietary fiber-rich barley products beneficially affect the intestinal tract of rats. J Nutr.132, p. 3704-3714.

[5] **(Peer Schilperoord ,(2017).** Plantes cultivées en Suisse ; L'avoine

[6] **Wissam BOUMELLAL et Madiha AMROUCHE** L'effet de la date de semis sur la culture de l'avoine (*Avena sativa*.L) sur quelques paramètres de croissance et de production dans la région de Khemis-Miliana

[7] **Sirodot.g-e.,(2016).** L'avoine, description, classification, Etude du grain des variétés Françaises et Etrangères, culture

[8] **Murphy, J.P. and Hoffman.L. (1992).** The origin, history, and production of oat.

[9] **Alain R., 2009 :** Avoine fleurie (*Avenasativa*. L'avoine fleurie. Guide de production sous régie biologique.Filière des Plantes Médicinales Biologiques du Québec. Magog, Québec. 30p.

[10] **Seguy L., 2012 :** Avoines *Avenasativa* et *Avenastrigosa*. Fiches techniques plantes de couverture : Graminées annuelles. Manuel pratique du semis direct à Madagascar. Ed : GSDM/CIRAD.8p.

[11] **Alain R., 2009 :** Avoine fleurie (*Avenasativa*. L'avoine fleurie. Guide de production sous régie biologique.Filière des Plantes Médicinales Biologiques du Québec. Magog, Québec. 30p.

- [12] **Clerget Y., 2011** : La biodiversité des céréales et leur utilisation par l'homme. Bulletin de la Société d'Histoire Naturelle du Pays de Montbéliard.16 p.
- [13] **Fillet., (2000)**. La graine de blé composition et utilisation ; INRA paris p46, 82 Hachette
- [14] **FAO.(2012)**. The state of food and agriculture. food and agriculture organization of the united nations Rome.
- [15] **Planet scope.(2012)**.La Production mondiale d'avoine.<https://www.planetoscope.com>.
- [16] **FAOSTAT (2015)**. La production d'avoine en Algérie.
- [17] **Belaid, D. (1986)**. Aspect de la céréaliculture algérienne. Collection le cours d'agronomie office des publications universitaires. 207 p
- [18] **Ministère de l'agriculture, 2016**. L'agriculture en Algérie.
- [19] **Melardi MG. (2013)** "Avena". (<http://www.lapelle.it/alimentazione/avena.htm>)
- [20] **Carder G., Chu, Y. Chung, Y. French, J.A., O'Shea, M., Jan-Willem, B.K. (2013)**. U. S. Patent No. 833,717. Chicago, IL (US), "United States Patent Application Publication".
- [21] **Sophie Macheteau**. L'avoine : La céréale bienveillante <https://www.ecolomag.fr/plante-du-mois-lavoine-la-cereale-bienveillante>.
- [22] **Lockhart and Hurt (1986)** Nutrition of oats, in Webster F H, oats : chemistry and technology, St. Paul, MN, American Association of cereal chemists.
- [23] **Julio Isidro-Sánchez, Elena Prats, Catherine Howarth, Tim Langdon and Gracia Montilla-Bascón(2020)** Genomic Approaches for Climate Resilience Breeding in Oats.Chapter IV;137-141.
- [24] **Singh R, De S, Belkheir A (2013)** Avena sativa (Oat), a potential nutraceutical and therapeutic agent: an overview. Crit Rev Food Sci Nutr 53:126–144.
- [25] **Zhou X, Jellen EN, Murphy JP (1999b)** Progenitor germplasm of domesticated hexaploid oat.Crop Sci 39:1208–1214

- [26] **Halima NB, Saad RB, Khemakhem B, Fendri I, Abdelkafi S (2015)** Oat (*Avena sativa* L.): oil and nutriment compounds Valorization for potential use in industrial applications. *J Oleo Sci* 64:915–932.
- [27] **Butt MS, Tahir-Nadeem M, Khan MK, Shabir R (2008)** Oat: unique among the cereals. *Eur J Nutr* 47:68–79.
- [28] **Frid A, Tura A, Pacini G, Ridderstrale M (2017)** Effect of oral pre-meal administration of betaglucans on glycaemic control and variability in subjects with type 1 diabetes. *Nutrients*
- [29] **Khan K, Jovanovski E, Ho HV, Marques AC, Zurbau A, Mejia SB, Sievenpiper JL, Vuksan V (2018)** The effect of viscous soluble fiber on blood pressure: a systematic review and meta-analysis of randomized controlled trials. *Nutr Metab Cardiovasc Dis* 28:3–13
- [30] **Gramza-Michałowska A, Kmiecik D, Kobus-Cisowska J, Żywica A, Dziejcio K, Brzozowska A(2018)** Phytonutrients in oat (*Avena sativa* L.) Drink: effect of plant extract on antiradical capacity, nutritional value and sensory characteristics. *Polish J Food Nutr Sci* 68:63–71.
- [31] **Chen C, Neill K, Wichman D, Westcott M (2008)** Hard red spring wheat response to row spacing, seeding rate, and nitrogen. *Agron J* 100:1296–1302.
- [32] **Peterson DM, Qureshi A (1993)** Genotype and environmental effects on tocopherols of barley and oats. *Cereal Chem* 70:15
- [33] **Blog nutrition santé.(2010).**<https://blognutritionssante.com/2010/12/05/les-bienfaits-delavoine-sur-notre-sante/>.
- [34] **Zhu., F. M., Du, B., Bian, Z. X., et Xu, B. J. (2015).** Beta-glucans from edible and medicinal mushrooms: characteristics, physicochemical and biological activities. *Journal of Food Composition and Analysis*, 41, p. 165-173.
- [35] **Dongowski, G., Huth, M., Gebhardt, E., Flamme, W. (2002).** Dietary fiber-rich barley products beneficially affect the intestinal tract of rats. *J Nutr.* 132, p. 3704-3714.
- [36] **Gardiner, T. (2000).** Beta-glucan biological activities: A Review

- [37] **Fincher, G.B., and Stone, B.A. (2004).** Chemistry of non-starch polysaccharides. In Wrigley, C., Corke, H., and Walker, C.E., eds. *Encyclopedia of Grain Science*. Elsevier, Oxford, UK.p.206-223.
- [38] **Du, B., Bian, Z.-X., and Xu, B. (2014).** "Skin Health Promotion Effects of Natural Beta-Glucan Derived from Cereals and Microorganisms: A Review."
- [39] **Johansson, L., Karesoja, M., Ekholm, P., Virkki, L., and Tenhu, H. (2008).** Comparison of the solution properties of (1→3),(1→4)-β-d-glucans extracted from oats and barley. *LWT-Food Science and Technology* 41, 180-184.
- [40] **Jacob, J. P., and Pescatore, A. J. (2014).** Barley β-glucan in poultry diets. *Annals of translational medicine* 2.
- [41] **Henry, R.J. (1987).** Pentosan and (1→3), (1→4) β-Glucan concentrations in endosperm and wholegrain of wheat, barley, oats and rye. *J CerealSci.* 6, p. 253-258.
- [42] **Guillon, F., and Champ, M. (2003).** Structural and physical properties of dietary fibres, and consequences of processing on human physiology. *Food Res. Int.* 33, p. 233–245.
- [43] **Doublier J-L, Wood, P.J. (1995).** Rheological properties of aqueous solutions of (1→3),(1→4)-β-D-glucan from oats (*Avena sativa* L.). *Cereal Chem.* 72, P. 335-340.
- [44] **Roubroeks, J.P., Andersson, R., Åman, P. (2000).** Structural features of (1→3),(1→4)-βD-
- [45] **Karl, K., et Joseph, G., Ponte, J.r. (2014).** *Hand book of Cereals Science and Technology*. Second Edition.
- [46] **Salas-Salvado, J., Bullo, M., Perez-Heras A., and Ros, E. (2006).** *J. Nutr.* 96, p. 45–51.
- [47] **Queenan, K., Stewart, M., Smith, K., Thomas, W., Fulcher, R. G. and Slavin. (2007).** *J. Nutr.* 6, p. 6.

[48] **Ludwig, D.S. (2003).** Dietary glyceic index and the regulation of body weight. *Lipids*.38, p.117–21.

[49] **Goodridge, Andrea, J.,Helen, S., Wolf David, M. (2009).** Underhill β -glucan recognition by the innate immune system. *ImmunologicalReviews*. 230, p. 38–50.

[50] **Brown, G.D. (2006).** Dectin-1: a signalling non-TLR pattern-recognition receptor. *Nat RevImmunol*. 6(1), p. 33-43.

[51] **Chan, G. C.F., Chan, W. K., and Sze, D. M.-Y. (2009).** The effects of β -glucan on human immune and cancer cells. *Journal of hematology & oncology* 2, 25.

[52] **Purnima, G., and Michael, J.G. (2010).** Mechanisms underlying the cholesterol-lowering properties of soluble dietary fibre polysaccharides. *J Food and Function*.1, p.149–155.

[53] **Erkkilä, A. T., and Lichtenstein, A. H. (2006).** Fiber and cardiovascular disease risk: how strong is the evidence? *Journal of Cardiovascular Nursing* 21, 3-8.

[54] **Juntunen, K. S., Laaksonen, D. E., Autio, K., Niskanen, L. K., Holst, J. J., Savolainen, K. E., Liukkonen,K.-H., Poutanen, K. S., and Mykkänen, H. M. (2003).** Structural differences between rye and wheat breads but not total fiber content may explain the lower postprandial insulin response to rye bread. *The American journal of clinical nutrition* 78, 957-964.

[55] **Levrat, M.-A., Favier, M.-L., Moundras, C., Rémésy, C., Demigné, C., and Morand, C. (1994).** Role of dietary propionic acid and bile acid excretion in the hypocholesterolemic effects of oligosaccharides in rats. *The Journal of nutrition* 124, 531-538.

[56] **Gunness, P., and Gidley, M. J. (2010).** Mechanisms underlying the cholesterol-lowering properties of soluble dietary fibre polysaccharides. *Food & function* 1, 149-155.

[57] **Directive 2002/46/CE du Parlement européen**, transposée par le décret n°2006-352 du 20 mars 2006).

[58] **Villepin D.,Breton T., Clément P., Bertrand X., Bussereau D (2006).** Décret du N°352du 20mars relatif aux compléments alimentaires.Paris.

- [59] **Khalfaoui Y (2018)**. le profil des consommateurs de compléments alimentaires. Faculté de médecine et pharmacie. Maroc. 31p.
- [60] **Bouarfa, M., et Le-Bras, P (2016)**. Le marché des compléments alimentaires et ses perspectives. Conception des compléments alimentaires. Marché, développement, réglementation et efficacité, 13-46.
- [61] **Valette J., (2015)** Les compléments alimentaires (définition, aspects réglementaires, cas pratique : un médicament qui évolue en complément alimentaire), thèse pour le diplôme d'état de docteur en pharmacie.
- [62] **Athmani. S., et Baba D., (2017)** Les compléments alimentaires consommés par les sportifs de la région de Tlemcen : composition et effets sur les paramètres biochimiques sanguins. Mémoire de fin d'études pour l'obtention du diplôme de docteur en pharmacie.
- [63] **Journal officiel de la république algérienne, Joumada Ethania., 2012**. N° 3051Ème. 1433 Correspondant au 16 mai 2012
- [64] **Derbre, S., (2010)** « Médicaments, compléments alimentaires, alicaments ou nutraceutiques, comment y voir clair ? » Actualités pharmaceutiques, n°496 15.
- [65] **Nazeri A., Massumi A., Wilson JM., Frank C.M., Bensler M., Cheng J., Saeed M., Rasekh A., Razavi M. (2009)**. Arrhythmogenicity of weight-loss supplements marketed on the Internet. *HeartRhythm*. 6(5):658-62.
- [66] **A. Ahmad et al. / International Journal of Biological Macromolecules 46 (2010) 304–309**
- [67] **Sheikhzadeh S, Alizadeh M, Rezazad M, Hamishehkar H**. Application of response surface methodology and spectroscopic approach for investigating of beta-glucan using natural biopolymers and nonionic surfactant. *J Food Sci Technol* 2016.
- [68] **Sánchez-Moreno, C**. Methods used to evaluate the free radical scavenging activity in foods and biological systems. *Food science and technology international*, (2002). 8(3), 121-137.
- [69] **H. Dehghan, P. Salehi, M.S. Amiri**, Bioassay-guided purification of α -amylase, α -glucosidase inhibitors and DPPH radical scavengers from roots of *Rheum turkestanicum*, *Ind. Crops Prod*. 117 (2018) 303–309.

[70] **Molyneux, P.** The use of the stable free radical diphenylpicrylhydrazyl (DPPH) for estimating antioxidant activity. *Songklanakarin J. Sci. Technol.*, (2004). 26(2), 211-219.

[71] **Umetrics AB, MODDE Pro**, Version 6, MKS Datav Data Analytics Solutions, Umeå 2001.

[72] **S. Touzouirt, C. Limani, F. Oukaci, T. Ahmed Zaïd, M. Nabiev.** Optimisation de la stabilité d'une émulsion de Pickering H/E à l'aide de la méthodologie des surfaces de réponses, *the canadian journal of chemical engineering*, 95, 1, 77–82. 2016.

[73] **Fillet., 2000.** La graine de blé composition et utilisation ; INRA paris p46, 82 Hachette livre.

[74] **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

[75] **Moule.C ; 1980.** Les céréales. Ed. La maison rustique, pp57.

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

[77] **Florence M et al., 2011. Anna b.** Chambre d'agriculture des pays de loire article publié en septembre 2011.

[78] **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.

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

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

[81] **S. Touzouirt, C. Limani, F. Oukaci, T. Ahmed Zaïd, M. Nabiev.** Optimisation de la stabilité d'une émulsion de Pickering H/E à l'aide de la méthodologie des surfaces de réponses, *the canadian journal of chemical engineering*, 95, 1, 77–82. 2016.

[82] **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.

[83] Liu, M ., Mei, J-F., Yi ,y., Chen, J-S., Ying, G-Q ., 2008. Advances in study on biological activities of agro-oligosaccharide, pharmaceutical biotechnology, 6

[84] Zhu, T et al., 2019. « Recent Progress of Polysaccharide-Based Hydrogel Interfaces for Wound Healing and Tissue Engineering », Advanced Materials Interfaces.

[85] Bougherra, H. H., Bedini, S., Flamini, G., Cosci, F., Belhamel, K., & Conti, B. (2015). Pistacia lentiscus essential oil has repellent effect against three major insect pests of pasta. Industrial Crops and Products, 63: 249-255.

[86] K.H.S. Farvin, C. Jacobsen, Phenolic compounds and antioxidant activities of selected species of seaweeds from Danish coast, Food Chem. 138 (2013) 1670e1681, <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2012.10.078>.