



الشعبية الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
RÉPUBLIQUE ALGÉRIENNE DÉMOCRATIQUE ET POPULAIRE



وزارة التعليم العالي و البحث العلمي
MINISTÈRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPÉRIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

Université Abdelhamid Ibn Badis Mostaganem
Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie

جامعة عبد الحميد بن باديس مستغانم
كلية علوم الطبيعة و الحياة

Département des sciences alimentaires

Mémoire présenté en vue de l'obtention du Diplôme de Master

Domaine : Sciences de la Nature et de la Vie

Filière : Sciences Alimentaires

Spécialité : Qualité des produits et sécurité alimentaire

Intitulé :

**Création de Chocolats Enrichis en Bêta-Glucane Issu de
l'Avoine : Procédé de préparation et perspective pour la sante.**

Présenté et soutenu par :

•BENHADIDA Meriem.

•BENGULLA Nourhane.

Soutenu publiquement le 22/09/2024.

Jury d'évaluation :

- | | | | | |
|--------------|-------------------|-------|-----|----------------|
| • Encadreur | Mme S.CHAA | Grade | MCB | U. Mostaganem. |
| • Président | Mme H.CHERRAD | Grade | MAB | U. Mostaganem. |
| • Examineurs | Mme F.Z.ALACHAHER | Grade | MAB | U. Mostaganem. |

Année universitaire : 2023 / 2024.

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

Remerciement :

Avant tout, nous remercions ''**Allah**'' le tout puissant de nous avoir donné la santé, la force, le courage, la patience, la persistance et nous a permis d'exploiter les moyens disponibles à fin d'accomplir ce modeste travail.

Merci de nous avoir éclairé le chemin de la réussite.

Nous adressons nos plus sincères remerciements à notre encadrante **Mme CHAA SARA** qui nous dirigées ce travail avec une grande rigueur scientifique, sa patience, ses conseils, sa grande disponibilité tout au long de la réalisation de ce mémoire, ainsi pour le temps qu'elle a bien voulu nous consacrer et sans lui ce mémoire n'aurait jamais vu le jour.

Nous remercions également **Mme. RACHIDA** technicienne du laboratoire de biochimie à la faculté des Sciences de la Nature et de la Vie à université de Mostaganem pour nous avoir soutenus durant notre période de travail.

Je remercie également **Mme CHERRAD HAYET**, maitre de conférence B à la faculté des Sciences de la Nature et de la Vie à l'université de Mostaganem d'avoir accepté de présidé le jury.

Je remercie **Mme ALACHAHER FATIMA.Z**, maitre de conférence B à la faculté des Sciences de la Nature et de la Vie à l'université de Mostaganem qui nous fait l'honneur d'examiner ce travail.

Nous souhaiterons également remercier nos professeurs de la faculté des sciences de la nature et de la vie de Mostaganem pendant les cinq années du notre parcours.

Dédicace

Dans ce travail je dédie :

À mon cher père **ADDA**, à mon précieux offre du dieu, à mon bonheur, à l'homme qui est toujours ici à mes cotes, merci pour ton soutien inébranlable, ta présence, tes conseils, tes sacrifices et ton courage, tes efforts que tu as déployés durant toute ma vie, ce travail n'aurait jamais pu être réalisé. Je ne pourrai jamais te rendre ne serait-ce qu'un peu de tes efforts et de ta fatigue pour moi. Papa avec tout mon amour, que dieu te guérisse et te garde parmi nous INCHALAH

À mon adorable mère **NADIA**, à la femme qui a souffert sans me laisser souffrir, à ma vie, merci pour ton amour inconditionnel et ton dévouement sans limites ont forgé la personne que je suis aujourd'hui, merci pour chaque sacrifice, chaque encouragement et chaque sourire qui m'ont porté tout au long de ma vie. Mama avec tout mon amour, que dieu te protège, te bénisse et te garde-la toujours parmi nous INCHALAH

À Mes chères sœur **SARA, ROKIA, ASMAA, MARIA** et mon petit frère unique **MOHAMED ISLAM**, à vous qui avez toujours été là pour moi, dans les moments de joie comme dans les moments de doute. Votre amour, votre soutien et votre complicité m'ont donné la force d'aller de l'avant. Je vous aime.

À tout ma famille, sans exception

À Mes enseignants qui sont la source de savoir.

À Tous ceux qui nous ont aidés à réaliser ce mémoire.

BENHADIDA Meriem .

Dédicace

Ma regrettée grand-mère **ZOHRA**, ce mémoire vous est dédié en souvenir de ce que vous avez fait pour moi durant votre existence. Que Dieu vous élève au rang de ses illustres amis.

À ma chère maman **FATIMA** qui a souffert sans me laisser souffrir qui n'a jamais dit non à mes exigences. Tu as été, et tu restes, mon pilier, mon modèle et ma source d'inspiration.

Ta force, ta patience et ton dévouement sans bornes m'ont guidé à chaque étape de ma vie. Ce travail est le fruit de ton investissement en moi, de tes prières et de ton amour. Tu es dans chaque page, chaque mot, et chaque réussite que j'ai pu atteindre. Que ce mémoire soit un humble hommage à tout ce que tu as fait pour moi.

À mon chère père **HADJ** ma source de bonheur, de tendresse et de confiance, merci pour votre amour, votre affection Votre soutien constant, et sans qui je ne serais pas arrivée jusqu'ici- ma profonde gratitude pour votre innombrables sacrifices que Dieu vous bénisse et vous garde en bonne santé.

À ma petite sœur unique **GHOFRAN**. À mes très chers frères **MOHAMED, ABD AL GHANI**.

À ma chère tante **ZAHIRA**

À mon cher grand père **KADA**.

À mes chers grands parents de ma mère **AHMAD** et **ZOHRA**.

À tous mes enseignants tout au long de mes études.

À Tous ceux qui m'ont aidé dans ma vie.

BENGUELLA Nourhane.

ENTRE NOUS :

"À ma chère binôme,

Avec qui j'ai partagé cinq années incroyables à l'université.

Ensemble, nous avons relevé des défis, surmonté des obstacles et célébré nos réussites.

Merci pour ton soutien indéfectible, ta patience et toutes ces heures passées à travailler côte à côte.

Notre parcours a été unique grâce à toi, et je suis certaine que notre amitié perdurera bien au-delà de ces

années universitaires.

À nous, et à tout ce que nous allons encore accomplir ensemble !

Meriem & Nourhane

SOMMAIRE :

LISTE DES FIGURES

LISTE DES TABLEAUX

LISTE DES ABREVIATIONS

RESUME

Table des matieres

INTRODUCTION.....1

Chapitre I : Synthèse Bibliographique

I.1. Aliments fonctionnels5

I.2. L'avoine (*Avenasativa*).....7

I.2.1. Définition7

I.2.2. Caractéristiques botaniques8

I.3. Fibres alimentaires8

I.3.1. Définition8

I.3.2. Principales sources de fibres alimentaires9

I.4. Béta-glucanes10

I.4.1. Définition10

I.4.2. Sources de β -glucane10

I.4.3. Structure de β -glucane11

I.4.4. Propriétés physicochimiques des béta-glucanes14

I.4.4.1. viscosité.....14

I.4.4.2. solubilités15

I.4.4.3. la capacité de rétention d'eau15

I.4.4.4. Propriétés texturales.....16

I.4.5. Les effets physiologiques des béta-glucanes	16
I.4.5.1. Le taux de cholestérol	16
I.4.5.2. Le système immunitaire	17
I.4.5.3. Le taux de glycémie	18
I.5. Chocolat	18
I.5.1. Etymologie	18
I.5.2. Définition de chocolat	19
I.5.3. Les types de chocolat	19
I.5.4. La réglementation	20
I.5.5. Effets du chocolat sur la santé	21
Création de produit	26

PARTIE PRATIQUE

CHAPITRE II : Matériels et méthodes.

II.1. Obtention de l'extrait de Béta-glucanes	28
II.1.1. Matériel végétale.....	28
II.1.2. Matériels d'extraction	29
II.1.3. Mode opératoire	29
I.1.4 Détermination de rendement d'extraction.....	31
II.2. Préparation du produit (chocolat).....	31
II.2.1. Matériels.....	31
II.2.2. Mode opératoire.....	31
II.3. Mélange	32
II.4. Evaluation de l'activité antioxydant.....	32

II.4.1. Principe	33
II.4.2. Matériels et réactifs	33
II.4.3. Mode opératoire	34
II.4.3.1. Préparation du DPPH	34
II.4.3.2. Préparation des échantillons	34
II.4.4. Courbe d'étalonnage de l'acide ascorbique	35
II.4.5. calcul des IC50	35
II.5. Evaluation de l'activité antidiabétique	35
II.5.1. Matériels et réactifs	35
II.5.2. Mode opératoire	36
II.5.2.1. Préparation des réactifs.....	36
II.5.2.2. Préparation des concentrations.....	36
II.5.2.3. Préparation des échantillons	36
II.5.3. Courbe d'étalonnage d'acarbose.....	37
 CHAPITRE III : Résultats et Discussions.	
III.1. Rendement d'extraction.....	39
III.2. Produit + Emballage	40
III.3. Détermination de l'activité antioxydant des béta glucane extrait de l'avoine	42
III.3.1. Pourcentage d'inhibition de radical libre DPPH	42
III.3.2. Détermination de l'IC50 (concentration inhibitrice 50%).....	43
III.4. Détermination de l'activité antidiabétique	44
III.4.1. Pourcentage d'inhibition de l'enzyme α -amylase	44
III.4.2. Détermination de l'IC50	45

CONCLUSION	48
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES	50

LISTE DES FIGURES

Figure 01 : Photo d'une plante d' <i>Avena Sativa</i> L.....	7
Figure 02 : sources de béta glucane.....	11
Figure 03 : Structure moléculaire des BGs (1,3/1,4) des céréales.....	12
Figure 04 : Structure des β -glucanes des céréales.....	12
Figure 05 : Structure des BGs (1,3/1,6) des levures.....	13
Figure 06 : La relation entre la structure moléculaire et la fonctionnalité du β -glucanes.....	14
Figure 07 : Mode d'action des BGs sur les cellules immunitaires.....	17
Figure 08 : Chocolat noir.....	19
Figure 09 : Chocolat au lait.....	20
Figure 10 : Chocolat blanc.....	20
Figure 11 : chocolat enrichi en béta glucane extrait d'avoine.....	26
Figure 12 : Avoine utilisé.....	28
Figure 13 : Les étapes de préparation de chocolat.....	32
Figure 14 : Les étapes de mélange (chocolat/extrait).....	32
Figure 15 : Structure chimique du radical libre DPPH.....	33
Figure 16 : Piégeage du radical DPPH avec l'antioxydant (AH).....	35
Figure 17 : L'extrait.....	39
Figure 18 : Histogramme de rendement d'extraction.....	40
Figure 19 : produit final –Chocolat-.....	40
Figure 20 : Emballage de produit.....	41
Figure 21 : Le pourcentage de piégeage du radical DPPH en fonction de la concentration de l'acide ascorbique (Vitamine C).....	42
Figure 22 : Résultats d'activité antioxydant (changement de couleur).....	42
Figure 23 : Le pourcentage de piégeage du radical DPPH en fonction de la concentration de l'extrait.....	43
Figure 24 : Histogramme d'effet de béta-glucane d'avoine et acide ascorbique (Vit C) sur DPPH exprimé en IC50.....	44

Figure 25 : Activité inhibitrice de l' α -amylase induite par β -glucane d'avoine.....	45
Figure 26 : Activité inhibitrice de l' α -amylase induite par Acarbose	45
Figure 27 : Histogramme comparative d'effet de β -glucane d'avoine et Acarbose sur l' α -amylase exprimé en IC50.....	46

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 01 : Classes d'aliments fonctionnels.....	5
Tableau 02 : Schéma des structures des BGs de différentes sources.....	14
Tableau 03 : Liste d'appareils, verreries et produits utilisés pour l'extraction.....	29
Tableau 04 : Liste d'appareils et réactifs utilisés pour préparation de produit.....	31
Tableau 05 : Liste d'appareils et réactifs utilisés pour l'activité antioxydant.....	34
Tableau 06 : Liste d'appareils et réactifs utilisés pour l'activité antidiabétique	35
Tableau 07 : IC50 de DPPH d'acide ascorbique (Vit C) et d'Extrait	44
Tableau 08 : Effet de béta-glucane d'avoine et Acarbose sur l'a-amylase exprimé en IC50..	46

LISTE DES ABREVIATIONS

FDA : Food and Drug Administration

AACC : Association des agences conseils et création.

LDL : Low density lipoproteins.

CCNFSDU : Comité du Codex sur la nutrition et les aliments diététiques ou de régime.

CAC : Le Codex Alimentarius Commission.

BG : Béta glucane.

BGs : Béta glucanes.

CR3 : Classe de résistance 3.

TLR : Les TollLikeReceptors.

(LDL)-cholestérol : LowDensityLipoprotein.

(HDL)-cholestérol : HightDensityLipoprotein.

FDA : Food and Drug Administration des États-Unis.

IMC : Indice de masse corporelle.

PEA : La phényléthylamine.

DPPH : α , α -diphényl- β -picrylhydrazyle.

IC50 : Concentration inhibitrice de 50%.

AE : Extraits aqueux.

RESUME

Ce mémoire explore la fabrication d'un chocolat fonctionnel enrichi en bêta-glucane d'avoine, en mettant l'accent sur ses propriétés antioxydantes et antidiabétiques. La première étape de cette étude a consisté en l'extraction du bêta-glucane à partir de l'avoine (100g de farine d'avoine), avec un rendement obtenu de **32.53 %**. Ensuite, les activités antioxydantes et antidiabétiques du bêta-glucane extrait ont été évaluées à l'aide de tests spécifiques. Les résultats ont révélé un IC50 de **147,2 ± 0.025 µg/ml** pour l'activité antioxydante, indiquant une capacité notable à neutraliser les radicaux libres, et un IC50 de **47.07 ± 1.34 µg/ml** pour l'activité antidiabétique, suggérant une efficacité significative dans la régulation de la glycémie. En intégrant le bêta-glucane d'avoine dans la formulation du chocolat, ce produit a démontré un potentiel notable pour offrir des bienfaits fonctionnels en matière de santé, en plus de ses qualités organoleptiques. Les résultats de cette étude soulignent l'opportunité de développer des produits alimentaires enrichis qui allient plaisir et bénéfices pour la santé.

Mot clé : Chocolat, fonctionnel, Bêta-glucane, l'Avoine, Antioxydante, Antidiabétique.

ملخص

تستكشف هذه الأطروحة عملية تصنيع شوكولاتة وظيفية غنية بببتا جلوكان الشوفان، مع التركيز على خصائصها المضادة للأكسدة والمضادة لمرض السكري. اشتملت المرحلة الأولى من الدراسة على استخلاص الببتا جلوكان من الشوفان (100 جرام من دقيق الشوفان)، بإنتاجية بلغت 32.53%. ثم تم تقييم أنشطة مضادات الأكسدة ومضادات السكري يبلغ $IC_{50} = 0.025 \pm 147.2$ للببتا جلوكان المستخلص باستخدام اختبارات محددة. كشفت النتائج عن وجود تركيز مركب يبلغ IC_{50} ميكروغرام/مل للنشاط المضاد للأكسدة، مما يشير إلى قدرة كبيرة على تحييد الجذور الحرة، وتقييم مركب 1.34 ± 47.07 ميكروغرام/مل للنشاط المضاد لمرض السكري، مما يشير إلى فعالية كبيرة في تنظيم نسبة السكر في الدم. من خلال دمج بببتا جلوكان الشوفان بببتا جلوكان في تركيبة الشوكولاتة، أظهر هذا المنتج إمكانات كبيرة لتقديم فوائد صحية وظيفية بالإضافة إلى صفاته الحسية. تسلط نتائج هذه الدراسة الضوء على فرصة تطوير منتجات غذائية غنية تجمع بين المتعة والفوائد الصحية.

الكلمة المفتاحية: شوكولاتة وظيفية، بببتا جلوكان، شوفان، مضاد للأكسدة، مضاد للأكسدة، مضاد لمرض السكر

Abstract

This thesis explores the manufacture of a functional chocolate enriched with oat beta-glucan, focusing on its antioxidant and anti-diabetic properties. The first stage of the study involved extracting beta-glucan from oats (100g oat flour), with a yield of **32.53%**. Next, the antioxidant and anti-diabetic activities of extracted beta-glucan were assessed using specific tests. Results revealed an IC₅₀ of **147.2 ± 0.025 µg/ml** for antioxidant activity, indicating a notable ability to neutralize free radicals, and an IC₅₀ of **47.07 ± 1.34 µg/ml** for anti-diabetic activity, suggesting significant efficacy in blood glucose regulation. By incorporating oat beta-glucan into the chocolate formulation, this product demonstrated notable potential to deliver functional health benefits in addition to its organoleptic qualities. The results of this study highlight the opportunity to develop enriched food products that combine pleasure and health benefits.

Key word: Chocolate, functional, Beta-glucan, Oat, Antioxidant , Antidiabetic.

INTRODUCTION

INTRODUCTION :

La santé humaine est profondément influencée par des facteurs comportementaux, au premier rang desquels se trouve l'alimentation. Dans un contexte mondial de malnutrition, dû en particulier à la transition alimentaire dans certains pays en développement, la demande des consommateurs pour des aliments "santé" a augmenté depuis quelques années et a ainsi renforcé la nécessité de développer des aliments fonctionnels (Prado *et al.*, 2008; Serafini *et al.*, 2012; Salmerón, 2017). Ce sont des aliments capables de prévenir l'incidence de maladies issues du syndrome métabolique, comme les maladies cardiovasculaires ou le diabète de type 2. Dans ce cadre, le concept des *aliments fonctionnels* a pris une importance croissante dans la recherche et le développement nutritionnels. Ces aliments peuvent contenir des composants bioactifs qui interagissent avec l'organisme pour moduler des processus physiopathologiques clés, favorisant ainsi une meilleure santé et une réduction des risques liés aux pathologies métaboliques et cardiovasculaires. Les composés bioactifs des aliments fonctionnels sont des constituants extra nutritionnels présents naturellement dans les plantes et qui peuvent exercer un effet biologique (Ghanbari *et al.*, 2012 ; Lobo *et al.*, 2010). La consommation de composés bioactifs alimentaires naturels est associée à une faible incidence de ces maladies chroniques (Lima *et al.*, 2014 ; Zhang *et al.*, 2015).

Les aliments fonctionnels qui jouent un rôle essentiel dans la promotion de la promotion de la santé, incluent souvent des composants spécifiques comme les fibres alimentaires. La consommation de fibres alimentaires est associée à la prévention de plusieurs maladies cardiométaboliques chroniques, dont le diabète de type 2 et les maladies cardiovasculaires. Pour cette raison, les directives alimentaires mondiales ont tendance à inclure un apport élevé en fibres dans leurs recommandations. Une définition mise à jour des fibres alimentaires a été présentée par le comité AACC en 2001, qui rapportait que les fibres alimentaires sont les parties comestibles des plants et les glucides analogues qui offrent une certaine résistance à la digestion et à l'absorption dans l'intestin grêle humain, mais une fermentation partielle ou complète peut se produire dans le gros intestin.

Les céréales sont particulièrement adaptées à la fabrication et le développement des aliments fonctionnels en raison de leurs propriétés nutritionnelles et grâce à leurs richesses en fibres, vitamines, minéraux et antioxydants.

Les céréales et leurs dérivées constituent l'alimentation de base dans beaucoup de pays en développement (Djermoun, 2009). En Algérie, les produits céréaliers occupent une place stratégique dans le système alimentaire et dans l'économie nationale (Djermoun, 2009). Parmi les espèces de céréales cultivées présentant des intérêts l'Avoine.

L'Avoine cultivée (*Avenasativa*) est une plante du bassin méditerranéen. C'est une espèce fourragère d'une grande qualité nutritive (Husson *et al.*, 2012). Il a une longue histoire de consommation humaine et est considérée comme l'une des céréales à grains entiers les plus importants dans l'alimentation (Jacobs et Gallaher, 2004); ses grains sont caractérisés par leur richesse en fibres solubles, b-glucanes, lipides, protéines et antioxydants (Isidro-Sánchez, 2020).

Parmi les composants les plus étudiés dans la catégorie des aliments fonctionnels, le bêta-glucane de l'avoine. Le bêta-glucane, une fibre soluble naturellement présente dans l'avoine, a fait l'objet de nombreuses études cliniques et épidémiologiques qui ont validé son rôle dans la réduction des taux de cholestérol LDL, un facteur de risque majeur des maladies cardiovasculaires. Ces propriétés conduisent à l'utilisation du β -glucane dans divers systèmes alimentaires et ont des implications importantes pour la santé humaine. De nombreuses études ont démontré les propriétés des bêta-glucanes à contrôler la glycémie et à réduire les lipides sanguins (David, 2012).

Le chocolat est l'aliment le plus souvent désiré dans le monde. Au départ, il était considéré comme un produit de luxe, mais maintenant on le considère comme un médicament (Latif, 2013).

De plus, Le chocolat est un produit bien connu pour sa saveur fine. Son histoire a commencé dans les temps anciens, lorsque les Mayas considéraient le chocolat (une boisson au cacao préparée avec de l'eau chaude) comme la «nourriture des dieux».

Ces dernières années, le chocolat noir, en particulier, a acquis une grande popularité. L'intérêt pour le chocolat s'est accru, en raison de ses vertus potentielles sur la santé (Montagna *et al.*, 2019). Le chocolat est l'aliment le plus souvent désiré dans le monde. Au départ, il était considéré comme un produit de luxe, mais maintenant on le considère comme un médicament (Latif, 2013).

L'intégration du bêta-glucane et de chocolat noir dans une approche nutritionnelle combinée pourrait offrir une stratégie innovante pour la prévention des pathologies cardiovasculaires et métaboliques.

- L'objectif de ce travail consiste donc à créer un chocolat enrichi en Bêta-Glucane extrait de l'Avoine, ainsi montrer l'effet de cette fibre alimentaire sur la santé : comme un antioxydant et un antidiabétique. Ainsi de mieux comprendre comment ces deux composants, pris séparément ou en association, peuvent contribuer à la prévention des maladies chroniques.
- Pour faciliter la lecture et la structuration du manuscrit, il est organisé en trois parties :
 1. Premier chapitre est une synthèse des données bibliographiques sur les aliments fonctionnels surtout sur l'avoine, les fibres alimentaires particulièrement en ce qui concerne le Bêta-Glucane et en dernier le chocolat.
 2. Deuxième chapitre présente le matériel et les méthodes utilisées pour : l'extraction de Bêta-Glucane, préparation du chocolat et le mélange entre produit/extrait, l'activité antioxydante et antidiabétique.
 3. Troisième chapitre est tout ce qui concerne les résultats et discussion.

Chapitre I : Synthèse bibliographique

Chapitre I : Synthèse BIBLIOGRAPHIE

I.1. Aliments fonctionnels :

Dans les années 1980, le Japon a vu naître le concept des produits fonctionnels, se référant à des aliments formulés spécifiquement pour promouvoir la santé ou atténuer les risques de maladies. Ces produits sont généralement préconisés dans le cadre d'une alimentation équilibrée, étant pourvus de molécules bioactives aux effets bénéfiques sur la santé (Salmerón, 2017; Serafiniet al.,2012).

Les produits fonctionnels pourraient ainsi être représentés par la phrase suivante, énoncée par Hippocrate (environ 460 - 377 av. J-C)

“Que ton aliment soit ton médicament, que ton médicament soit ta nourriture”,

Les produits fonctionnels sont formulés afin de prévenir le développement de maladies chroniques telles que les maladies cardiovasculaires, l'obésité, et le diabète de type 2.

Les aliments fonctionnels comprennent :

- Des aliments conventionnels contenant des produits naturels substances bioactives (ex : fibres alimentaires),
- Des aliments enrichis de substances bioactives (ex : probiotiques, antioxydants)
- Des ingrédients alimentaires synthétisés introduits dans les aliments traditionnels (ex : prébiotiques)

Les aliments fonctionnels peuvent par exemple être classés en 5 grandes familles.

Tableau 01 : Classes d'aliments fonctionnels (Siroet al.,2008)

Type d'aliments fonctionnels	Définition	Exemples
Produit naturel	Un aliment contenant naturellement des composés santé.	Fruits et légumes.
Produit modifié	Un aliment duquel un composant nocif a été retiré, réduit ou remplacé par une autre substance aux effets bénéfiques.	Fibres libérant de la graisse les produits de viande ou la crème glacée.
Produit fortifié	Un aliment fortifié en nutriments	Jus de fruits fortifiés en

	additionnels.	vitamine C, laits additionnés en vitamine D.
Produit enrichi	Un aliment dans lequel ont été ajoutés des nutriments ou des composés qui ne les contiennent normalement pas.	Margarines additionnées en esters de stérols, des produits pré- ou probiotiques.
Produit amélioré	Un aliment dans lequel la teneur de l'un des composés a été élevée grâce à des conditions particulières d'élevage ou une composition optimisée de la nourriture.	Œufs enrichis en oméga-3, produits en modifiant l'alimentation des poules pondeuses.

Céréales fonctionnelles :

Les céréales, en particulier l'avoine et l'orge, offrent une autre alternative pour la production d'aliments fonctionnels. Les multiples effets bénéfiques des céréales peuvent être exploités de différentes manières, menant à la conception de nouveaux aliments céréaliers ou d'ingrédients céréaliers pouvant cibler des populations spécifiques. Les céréales peuvent être utilisées comme substrats fermentescibles pour la croissance de micro-organismes probiotiques. En outre, les céréales peuvent être utilisées comme sources de glucides non digestibles qui, en plus de favoriser plusieurs effets physiologiques bénéfiques, peuvent également stimuler sélectivement la croissance des lactobacilles et des bifidobactéries présentes dans le côlon et agir comme prébiotiques. Les céréales contiennent des fibres hydrosolubles, telles que le bêta-glucane et l'arabinoxylan, des oligosaccharides, tels que le galacto et le fructo-oligosaccharides et de l'amidon résistant, qui ont été suggérés pour répondre au concept prébiotiques (Siro *et al.*, 2008).

I.2. L'avoine (*Avenasativa*) :

I.2.1. Définition :

L'Avoine cultivée (*Avenasativa*) est une plante du bassin méditerranéen. C'est une espèce fourragère d'une grande qualité nutritive (Husson *et al.*, 2012). Elle est même considérée comme une excellente plante nettoiyante, qui permet de contrôler un grand nombre d'adventices grâce à ses facultés allélopathiques très marquées. Même les cultures installées sur résidus d'avoine peuvent généralement être conduites sans utilisation d'herbicides (Husson *et al.*, 2012).

L'avoine est tolérante vis-à-vis du froid et n'est pas affectée par le gel ou la neige. Elle a une plus grande tolérance aux pluies par rapport à d'autres céréales comme le blé, le seigle ou l'orge. Elle exige un sol sec ou partiellement humide et peut tolérer la sécheresse. Elle est très répandue dans les pays tempérés et subtropicaux et largement utilisée pour la production fourragère dans les mêmes régions (Salgado, 2008).

Critère	Avoine
Règne	Plantae
Division	Magnoliophytae
Classe	Liliopsida
Sous-classe	Commelinidae
Ordre	Cyperales
Famille	Poaceae
Sous-famille	Pooideae
Tribu	Aveneae
Genre	Avena
Espèce	Avenasativa L.



Figure 01 :Photo d'une plante d'*Avenasativa*L

(telabotanica.org)

L'Avoine était initialement une plante adventice des champs de blé et d'orge du Croissant fertile. L'avoine est une plante annuelle originaire de l'Afrique du Nord et du Moyen- Orient, cultivée comme céréale ou comme fourrage et utilisée principalement dans l'alimentation animale (Husson *et al.*, 2012).

I.2.2. Caractéristiques botaniques :

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 (Alain, 2009 ; Salgado, 2008). Les tiges sont cylindriques (caulines) de 25 à 150 cm de haut, au port dressé (Husson *et al.*, 2012). 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 (Alain, 2009).

Les inflorescences sont des panicules lâches. Elles mesurent 8 à 30 cm de long, portant des épillets de deux à trois fleurs (Husson *et al.*, 2012). Les fleurs sont arrangées en épillets mesurant entre 16 et 24 mm de longueur à pédoncules barbus. Elles sont entourées de glumelles supérieures et inférieures initialement partiellement masquées par les glumes supérieures et inférieures de l'inflorescence. Ces épillets ne forment pas un épi dense. La fleur présente trois étamines et les stigmates sont directement portés par le carpelle (Alain, 2009). Le fruit ou grain est un caryopse entouré de glumelle non adhérente mais restant fermé (Clerget, 2011).

I.3. Fibres alimentaires :

I.3.1. Définition :

Les fibres alimentaires ont été définies en 2008 par le **Codex Alimentarius** (voir en fin de page la signification) comme des « **polymères glucidiques** composés de trois unités monomériques (trimères) ou plus (polymères), qui ne sont ni digérés ni absorbés dans l'intestin grêle humain et appartiennent à l'une des catégories suivantes :

- Polymères glucidiques comestibles, présents naturellement dans la denrée alimentaire telle qu'elle est consommée.
- Polymères glucidiques comestibles qui ont été obtenus à partir de matières premières alimentaires brutes et transformés par des moyens physiques, enzymatiques ou chimiques et ont un effet physiologique bénéfique.

La plupart des définitions des fibres alimentaires étaient basées sur les caractéristiques physiologiques de non-digestion et de non-absorption dans l'intestin grêle, avec certains bienfaits pour la santé. Une définition la plus récente et complète du régime alimentaire la fibre a été proposée par le **CCNFSDU** (Comité du Codex sur la nutrition et les aliments diététiques ou de régime) et par le Codex Alimentarius Commission (**CAC, 2006**). Cette définition déclare que les fibres alimentaires sont des polymères glucidiques contenant au moins un degré de polymérisation d'environ trois, et ceux-ci sont privés de la capacité à digérer ou à être absorbé et hydrolysés dans l'intestin grêle. Les fibres alimentaires jouent également un rôle dans l'augmentation du volume fécal, la stimulation de la fermentation colique et la diminution des taux sériques de cholestérol préprandiale et de glycémie postprandiale dans l'organisme(**Gomez, 2010**).Actuellement, elles sont considérées comme un élément indispensable et essentiel dans les produits alimentaires(**OhaIetal., 2014**).

Selon cette définition, les glucides comestibles d'origine naturelle polymères dans les aliments, modifiés physiquement, chimiquement et enzymatiquement les polymères glucidiques sont inclus dans le groupe des produits alimentaires fibre. De plus, les polymères synthétiques de glucides ont également été couverts par cette définition (**CAC, 2006**).Les fibres alimentaires jouent également un rôle dans l'augmentation du volume fécal, la stimulation de la fermentation colique et la diminution des taux sériques de cholestérol préprandiale et de glycémie postprandiale dans l'organisme.

Une définition actualisée des fibres alimentaires a été présentée par le comité de l'**AACC** en 2001, qui a signalé que les fibres alimentaires sont les parties comestibles de la plante et les glucides analogues qui offrent une certaine résistance à la digestion et à l'absorption dans l'intestin grêle humain, mais partiellement ou la fermentation complète peut se produire dans le gros intestin(**DeVries, 2001**).

I.3.2. Principales sources de fibres alimentaires :

- **La plupart des légumineuses** : les haricots, les pois chiches, les lentilles, le pois.

- **Les céréales** : son de blé, son d'avoine, les flocons d'avoine, le pain de blé entier, les pâtes de farine complète
- **Les légumes** : cœur d'artichaut, avocat, chou vert, persil, chou-fleur, carottes, maïs, courges, céleri, épinard.
- **Les fruits** : noix de coco, figue sèche, abricots séchés, le raisin, dattes, pruneaux séchés, fraises, pommes.
- **Les fruits secs** : les amandes, les noisettes, pistaches, les arachides châtaignes.
- **Les épices** : la cannelle, graines de coriandre, le thym, le gingembre séché.

Les fibres alimentaires sont classées en fibres solubles et insolubles ; les fibres insolubles incluant la cellulose et la lignine...etc., elles sont légèrement fermentées et sont peu ou pas visqueuses, alors que les fibres solubles regroupent les oligosaccharides, lespectines et les bêta glucanes (BGS), ces dernières sont bien fermentées par la flore intestinale et elles ont une bonne viscosité ([Roberfroid, 1993](#) ; [Dikeman et Fahey, 2006](#) ; [Juliet, 2006](#)).

I.4. Bêta-glucanes :

I.4.1. Définition :

Les Bêta-glucanes (BG) sont des polysaccharides non amyliques 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 ([Zhu et al., 2015](#)). BG est une composante importante de la paroi cellulaire dans l'avoine, l'orge, la levure et les champignons ([Bell, 1999](#)).

I.4.2. Sources de β -glucane :

Historiquement, les céréales ont été la source la plus connue de β -glucanes. Cependant, avec les progrès de la recherche, les β -glucanes ont été identifiés et sont extraits de sources microbiennes, ainsi que de certains champignons, lichens et algues marines (**figure 02**). Le B-glucane est largement présent dans la paroi cellulaire de ces micro-organismes (bactéries, champignons, levures) et dans les

parois endospermiques et aleuroniques des grains de céréales (avoine, orge, seigle et millet).

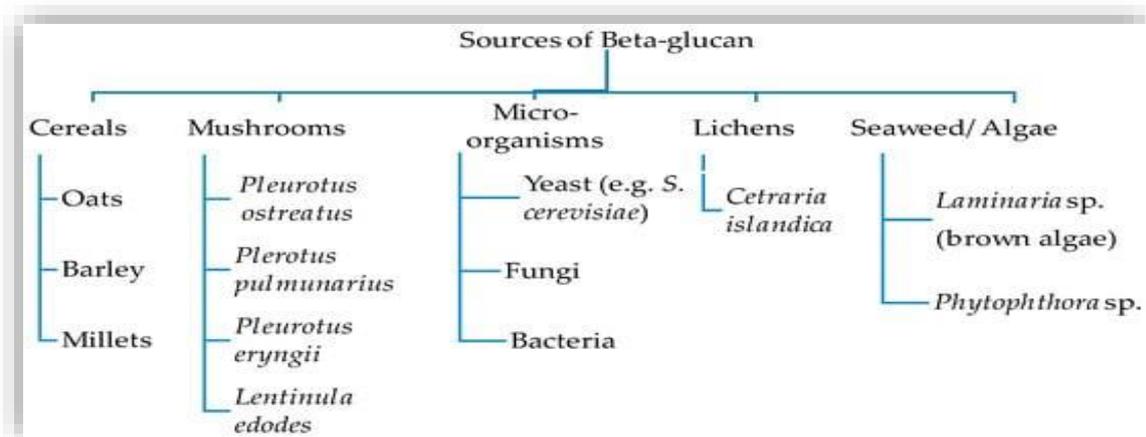


Figure 2 : Sources de bêta glucane.

Cet ingrédient fonctionnel provient principalement 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 (Henry, 1987 ; Nilsson et al., 1997). Ils peuvent aussi être extraits à partir de riz (Inglett et al., 2004) .

Les champignons sont aussi une excellente source de BGs de structure β (1,3/1,6). Parmi eux, les chercheurs se concentrent sur les champignons comestibles. Parmi les champignons les plus célèbres, on retrouve *Agaricus brasiliensis* (Mizuno et al., 2003). Ils sont obtenus aussi à partir de certaines bactéries pathogènes comme *Pneumocystis carinii*, *Aspergillus fumigatus* et *Candida albicans* (Tokunaka et al., 2002).

I.4.3 Structure de β -glucane :

Le BG est un type de polymère de glucose hétérogène, un polysaccharide non amylacé composé de monomères β - d -glucose liés par des liaisons β (1 \rightarrow 3), (1 \rightarrow 4) et/ou (1 \rightarrow 6), soit en formes ramifiées ou non. Par conséquent, ils présentent un large éventail de bio activités. Il a été rapporté une forte corrélation entre l'apport en glycémie et divers résultats physiologiques bénéfiques, notamment la réduction des taux sériques de cholestérol et de

sucre dans le sang, les effets anticancéreux, les anti-infections, le contrôle du diabète et de l'hypertension, ainsi que le renforcement du système immunitaire (Ma et al., 2024).

Les BGs provenant de dérivés de céréales se composent d'un squelette de molécules de glycopyranosyle 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 (Fincher et Stone, 2004 ; Burton et Fincher, 2009).

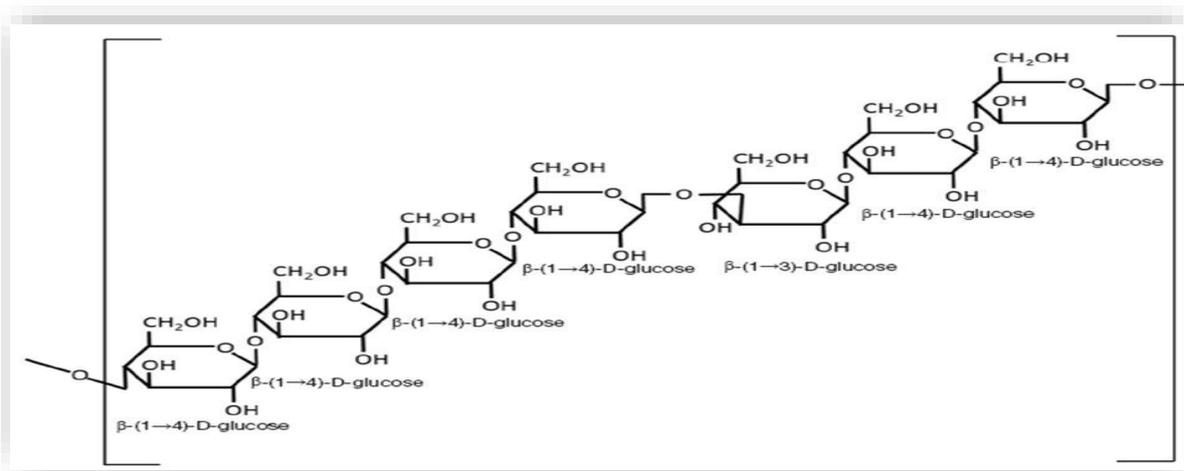


Figure 03 : Structure moléculaire des BGs (1,3/1,4) des céréales

(Jacqueline et Anthony, 2014).

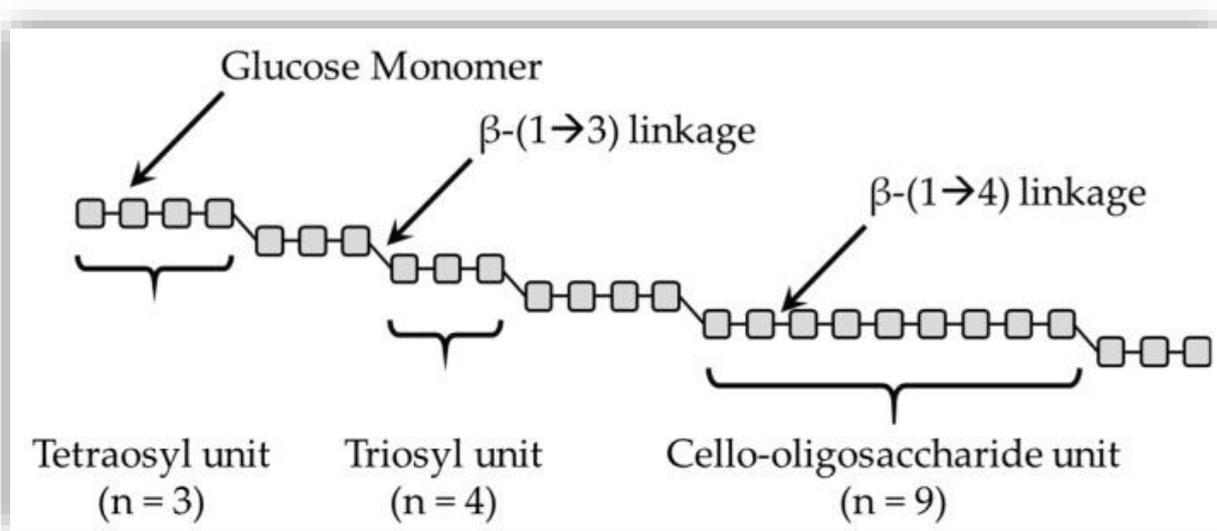


Figure04 : Structure des β -glucanes des céréales, adaptée de (Tosh et al., 2004).

Structurellement, le β -glucane d'avoine est un polysaccharide linéaire naturel composé de monomères de D-glucose liés par des liaisons β -glycosidiques (Steiner *et al.*, 2018).

Le β -glucane d'avoine présente des caractéristiques moléculaires qui semblent être une structure à triple hélice droite stabilisée par des liaisons hydrogène inter chaînes, ce qui confère certaines propriétés physicochimiques importantes au β - glucane d'avoine, telles que la solubilité, la viscosité et la gélification (Bai *et al.*, 2019).

En raison de ses structures chimiques complexes et de ses propriétés physicochimiques, il a été démontré que le β -glucane d'avoine possède des fonctions physiologiques polyvalentes telles que la régulation de la glycémie postprandiale et la réduction des taux de cholestérol sérique (Guo *et al.*, 2019).

La non-digestibilité est également une caractéristique importante du β -glucane d'avoine. Le β -glucane d'avoine est difficilement hydrolysé par les enzymes digestives endogènes humaines et l'environnement acide gastrique, mais pénètre dans le gros intestin et est dégradé par le microbiote intestinal (Bai *et al.*, 2021).

Alors que les BGs provenant de levures et de champignons se composent des liaisons β (1-3) et β (1-6) (Du *et al.*, 2015).

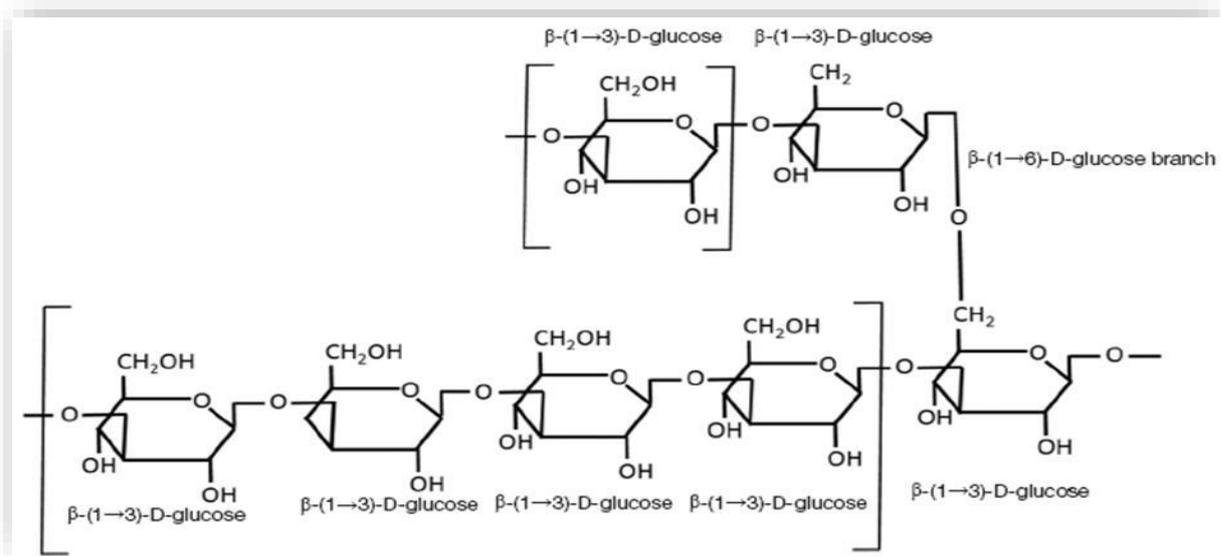
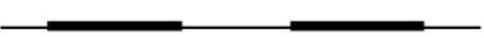


Figure 05: Structure moléculaire des BGs (1,3/1,6) des levures

(Jacqueline et Anthony, 2014).

Cependant les BGs bactériens, d'une part, sont non ramifiés se compose seulement de liaisons β (1-3). Ces différences structurales sont reflétées dans les différences dans leur fonctionnalité (Johansson et al, 2008).

Tableau 02 : Schéma des structures des BGs de différentes sources (Julia et al, 2008).

β -Glucan type	Structure
Bacterial	
Fungal	
Yeast	
Cereal	

I.4.4. Propriétés physicochimiques des bêta-glucanes :

I.4.4.1. Viscosité :

Le B-glucane contribue à la viscosité de la solution. La viscosité intrinsèque d'une solution est également considérée comme une propriété caractéristique de la solution de polysaccharides. La viscosité, à son tour, semble dépendre de la masse molaire des polysaccharides, de la concentration et de la capacité à former des agrégats.

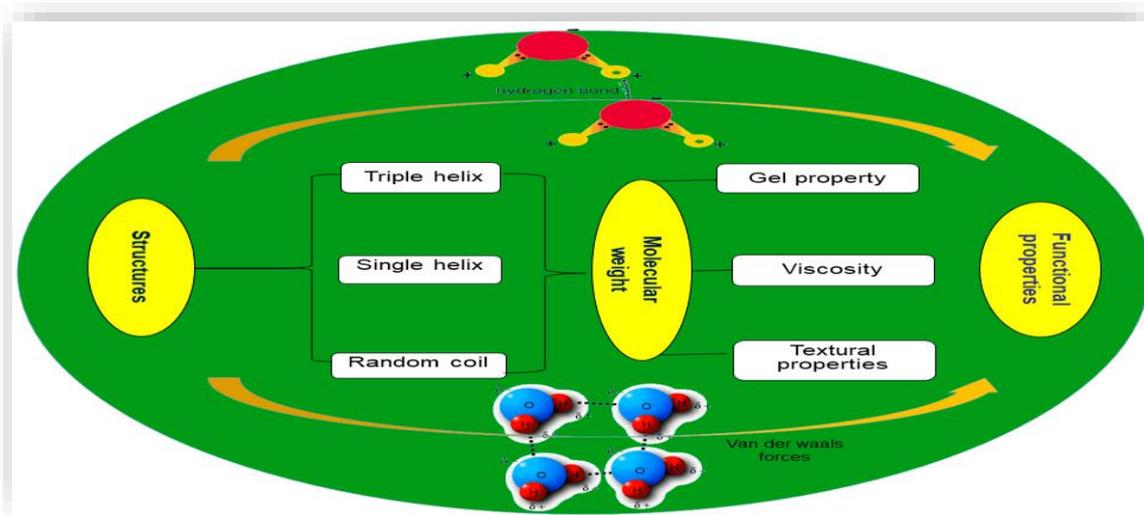


Figure 06 : La relation entre la structure moléculaire et la fonctionnalité du B-glucane

(Du et al., 2019).

La figure présente la relation entre la structure moléculaire et la fonctionnalité du B-glucane. Il a été mentionné que le B-glucane augmente la viscosité du tractus gastro-intestinal et retarde la vidange gastrique ainsi que l'absorption intestinale des hydrates de carbone, ce qui, à son tour, conduit à une réduction de l'hyperglycémie post prandiale ainsi qu'à l'absorption et à la réabsorption du cholestérol et des acides biliaires. Diverses études ont mis en évidence les fortes corrélations entre Poids moléculaire du β -glucane et la viscosité des solutions. Kim et White ont également signalé une augmentation de la viscosité avec une augmentation du Poids moléculaire du β -glucane d'avoine. Il a également été rapporté que l'irradiation gamma du glucane conduit à la radiolyse des liaisons glycosidiques, ce qui entraîne une diminution de son Poids moléculaire et réduit en fin de compte la viscosité du B-glucane.

I.4.4.2. Solubilité :

Les polysaccharides ont une forte valeur vis-à-vis des molécules d'eau en raison de la présence de groupes OH multiples. La solubilité du β -glucane est un paramètre important car il joue un rôle crucial dans leurs activités fonctionnelles, telles que la stabilité, les propriétés émulsifiantes, l'administration de médicaments et les propriétés de formation de membranes (Du et al., 2019).

La solubilité est le principal facteur dans les propriétés nutritionnelles du BG, les BGs sont généralement hydratées 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 (Roubroeks et al., 2000).

I.4.4.3. Capacité de rétention d'eau :

Les β -glucanes ont une grande capacité de rétention d'eau et ont un grand rôle dans diverses applications alimentaires en tant que fibre soluble. Une capacité de rétention d'eau élevée aide également à retarder staling, contrôler la migration de l'humidité et la formation de cristaux de glace, augmenter la stabilité de gel / dégel (congélation/décongélation), et de réduire la réaction de synérèse ou de pleurage (Kulp et Joseph, 2014). Les polysaccharides sont des molécules hydrophiles, ils possèdent de nombreux groupes hydroxyles qui peuvent former des liaisons

hydrogène avec l'eau. Par conséquent, les polysaccharides solubles et insolubles ont tous deux la capacité de retenir l'eau. La démonstration la plus évidente de la capacité des polysaccharides solubles à retenir l'eau est le phénomène de gélification. Une quantité relativement faible de polysaccharides, comme 1 % d'agarose, peut suffire à piéger l'eau dans laquelle elle est dissoute dans un réseau tridimensionnel de molécules de polysaccharides. L'eau est retenue dans la matrice polysaccharidique, incapable de s'écouler, et le système présente les propriétés semi-solides caractéristiques d'un gel. Les fibres insolubles peuvent également absorber l'eau, mais plutôt à la manière d'une éponge. Elles forment également une matrice hydrophile dans laquelle l'eau est piégée, mais où la quasi-cristallinité du polysaccharide demeure et où l'eau remplit les interstices, provoquant souvent un gonflement considérable

I.4.4.4. Propriétés texturales :

L'enrichissement des aliments à base de céréales et de produits laitiers avec b-glucane a illustré le potentiel du b-glucane à manipuler la structure, la texture et l'acceptabilité des aliments (Du *et al.*, 2019).

I.4.5 Effets physiologiques des BGs :

Les bêta-glucanes exercent une influence sur :

I.4.5.1. Le taux de glycémie :

Plusieurs essais cliniques ont utilisé les BGs pour réduire le taux de glucose dans le sang. Différents auteurs ont démontré que les BGs créent une solution visqueuse dans l'intestin en protégeant la muqueuse intestinale et prolongent la digestion des macronutriments en retardant la vidange gastrique et en ralentissant le transport/mélange des enzymes digestives (Salas-Salvado *et al.*, 2006 ; et lairon *et al.*, 2007). La conséquence directe est que l'absorption de glucose et d'autres macronutriments est réduite (Queenan *et al.*, 2007). 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 (Ludwig 2003 et Saris, 2003). Ainsi, les BGs peuvent diminuer l'appétit et réduire la prise de nourriture (Jiezhong et Kenneth, 2008).

Par exemple, l'Autorité européenne de sécurité des aliments (EFSA) a approuvé une allégation de santé visant à réduire la réponse glycémique lorsqu'au moins 4 g de β -glucanes, provenant de l'avoine ou de l'orge, pour 30 g de glucides disponibles sont consommés dans un repas (01).

I.4.5.2. 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 BGs sont reconnus par plusieurs récepteurs de système immunitaire, dont le récepteur du complément (CR3), les TollLikeReceptors (TLR-2/6), et plus particulièrement la dectine-1 (Figure 07), ce récepteur clé des BGs traduit la reconnaissance en signalisation intracellulaire (Goodridge et al., 2009), stimule les réponses cellulaires et participe à l'orchestration de la réponse immunitaire adaptative (la phagocytose, la production de facteurs pro-inflammatoires et entraînant l'élimination d'agents infectieux (Brown, 2006 ; Schorey et Lawrence, 2008).

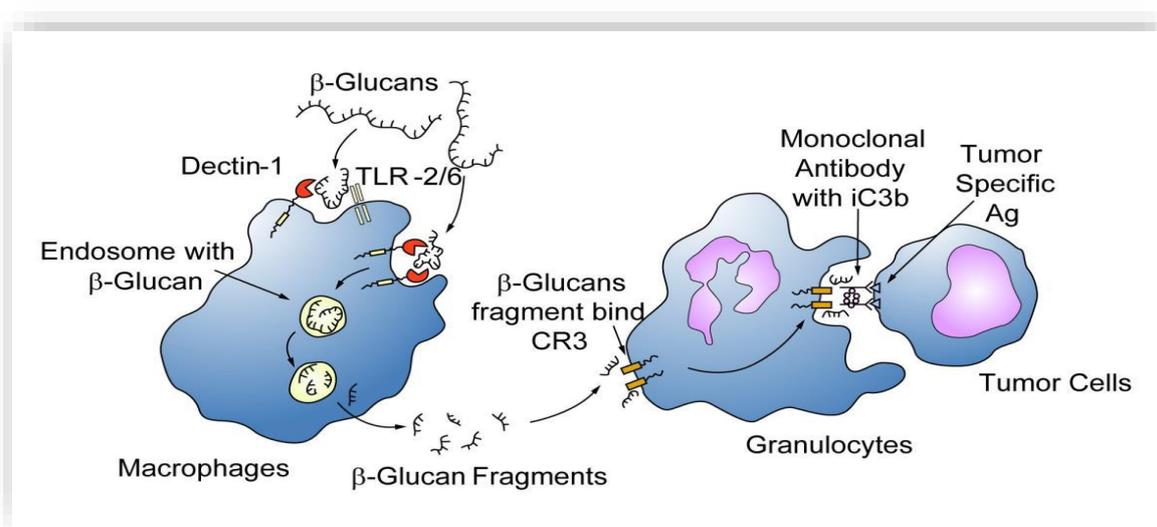


Figure 07 : Mode d'action des BGs sur les cellules immunitaires (Godfrey, 2009)

I.4.5.3. Le taux de cholestérol :

Les taux élevés de cholestérol des lipoprotéines de faible densité (LDL) sont considérés comme des facteurs de risque majeurs pour les maladies cardiovasculaires. Les BGs ont été montrés pour diminuer le cholestérol total, les triglycérides et le LowDensityLipoprotein (LDL)-cholestérol et augmenter le HighDensityLipoprotein (HDL)-cholesterol pour atténuer éventuellement la dyslipidémie et réduire le risque des maladies cardio-vasculaires (**Purnima et Michael, 2010**). Les BGs peuvent également abaisser les niveaux du cholestérol total (TC) et de LDL-cholesterol grâce à des effets sur la glycémie postprandiale.

Le groupe scientifique de l'**EFSA** a examiné les preuves concernant les effets hypocholestérolémifiants des β -glucanes de céréales et a conclu qu'au moins 3 g de β -glucanes d'avoine par jour sont nécessaires pour prétendre à une réduction du cholestérol sanguin chez les adultes normo- ou hypercholestérolémiques, ce qui entraîne un risque plus faible de maladie cardiaque (coronarienne) (**02**). De même, la Food and Drug Administration (**FDA**) des États-Unis a approuvé l'allégation selon laquelle l'utilisation d'au moins 3g de β -glucanes d'avoine ou d'orge par jour entraîne une réduction des maladies coronariennes résultant d'une baisse des taux de cholestérol circulant (**03**). La consommation de β -glucanes augmente l'excrétion des acides biliaires, ce qui stimule le métabolisme et l'élimination du cholestérol.

I.5. Le chocolat :

I.5.1. Etymologie :

L'origine du mot « chocolat » est controversée. Pour les uns, le mot chocolat, composé de « choco » : bruit et de « atle » : eau, dériverait des mots aztèques tchoco et latte signifiant le bruit fait par le batteur de chocolat lorsqu'il remue la boisson pour la faire mousser. Pour d'autres, il aurait une origine maya et dériverait du mot xocoalt (prononcez chocolat), signifiant probablement « eau fermentée » et désignant une boisson faite en rajoutant, aux fèves torréfiées et broyées, de l'eau, de la farine de maïs, du piment et des épices (**Daverio, 2005**).

I.5.2. Définition du chocolat :

Le chocolat est un produit obtenu par un procédé approprié de fabrication à partir de matières provenant du cacao et pouvant être combinées avec des produits laitiers, des sucres et/ou des édulcorants, et autres additifs (Codex alimentarius, 2015). Le chocolat (du nahuatl *xocolatl*, boisson de cacao) est une préparation provenant de la fève du cacao, C'est un aliment composé essentiellement de cacao et peut être combiné avec des produits laitiers, des sucres et / ou édulcorants et autres additifs. Il à une forme solide à une température ambiante (20-25°C), il sera fondu à la température égale ou supérieure à 37°C. Il existe plusieurs types de chocolat: chocolat noir, chocolat blanc, chocolat au lait, liqueur de cacao (Lares et Pérez, 2015; Gboghri, 2019).

I.5.3. Les types de chocolat :

À partir des fèves de cacao, par le biais de divers processus de transformation, l'industrie alimentaire produit différents types de chocolat avec des ingrédients et des caractéristiques définis (Montagna et al., 2019).

- **Le chocolat noir :** C'est un mélange de pâte de cacao, de beurre de cacao et de sucre.



Figure 08 :Chocolat noir

(Finley, 2014).

- **Le chocolat au lait :** C'est un mélange de pâte de cacao, de beurre de cacao, de lait en poudre et de sucre.



Figure 09 :Chocolat au lait

(Leopold, 2019).

- **Le chocolat blanc :** C'est un mélange de beurre de cacao, de lait en poudre et de sucre.



Figure 10 :Chocolat blanc

(Fressenel, 2018).

I.5.4. La réglementation :

La fabrication et la composition du chocolat sont régies par la directive Cacao-Chocolat adoptée en l'an 2000 et entrée en vigueur en août 2003 (Directive 2000/36/CE du parlement européen et du conseil du 23 juin 2000 relative aux produits de cacao et de chocolat destinés à l'alimentation humaine), une réglementation européenne qui permet de définir les matières premières autorisées, les teneurs minimales en cacao, l'étiquetage, les différentes catégories de chocolats. Elle autorise l'adjonction de matières grasses d'origine végétale autre que le cacao dans les chocolats. Citons : « L'addition aux produits de chocolat de matières grasses végétales autres que le beurre de cacao est admise dans certains états membres jusqu'à 5 % au maximum. ». Les matières grasses utilisées ne peuvent être que : Illipé, huile de palme, sal, karité, noyaux de mangue.

I.5.5. Effets du chocolat sur la santé :

- **Aliment énergétique :**

La première caractéristique du chocolat tient à ses propriétés énergétiques, de par sa composition en sucres et en matières grasses, il fournit, sous un faible volume, un très bon apport calorique.

- **Chocolat et diabète :**

L'extrait de cacao peut avoir des effets hypoglycémiques et hypocholestérolémiques potentiels sur les taux de glucose et de lipides sériques. Certains travaux de recherche montrent que les polyphénols présents dans l'extrait de cacao peuvent abaisser les niveaux de glucose sérique et améliorer le lipide. Il a été démontré que la présence de poudre de cacao dans les aliments entraîne une importante sécrétion d'insuline post prandiale ([Badrie et al.,2014](#)). Le chocolat noir contribue à la santé des vaisseaux sanguins et à une bonne circulation sanguine, ce qui protège contre le diabète de type II. Les flavonoïdes contenus dans le chocolat noir contribuent également à réduire la résistance à l'insuline en aidant les cellules à fonctionner normalement et à retrouver la capacité d'utiliser efficacement l'insuline du corps ([Grassi, 2005](#)). Le chocolat noir a également un faible indice glycémique et ne provoque pas de pics de glycémie importants.

- **Chocolat et obésité :**

Une méta-analyse publiée dans le "European Journal of Clinical Nutrition" a suggéré une association inverse entre la consommation modérée de chocolat et l'indice de masse corporelle (IMC), mais d'autres facteurs peuvent influencer cette relation. ([Greenberg et al., 2013](#)).

- **Effets sur le système nerveux central :**

La consommation de chocolat noir riche en flavanols peut améliorer la fonction cérébrale, y compris la mémoire et l'attention. Cela est attribuable aux propriétés antioxydants et anti-inflammatoires des flavanols présents dans le chocolat ([Nehlig et al., 2013](#)).

Le chocolat noir augmente le flux sanguin vers le cerveau ainsi que vers le cœur, et peut donc contribuer à améliorer les fonctions cognitives (Di Tomaso, 1996). Le chocolat noir contient plusieurs composés chimiques qui ont une action stimulante et un effet positif sur l'humeur et la santé cognitive (Small et al., 2001). Le chocolat contient de la phényléthylamine (PEA), qui encourage le cerveau à libérer des endorphines et à se sentir alerte. Le chocolat noir contient également de la caféine, un stimulant léger. Cependant, le chocolat noir contient beaucoup moins de caféine que le café et c'est pourquoi les ingrédients du chocolat ont été utilisés dans les troubles de l'humeur (Parker et al., 2006) .

- **Maladies cardiovasculaires et tension artérielle :**

De nombreuses études soutiennent l'effet à court terme de la réduction de la pression artérielle par la consommation de produits à base de cacao. Le chocolat noir peut réduire le risque d'athérosclérose en épaississant et en durcissant les artères, en restaurant leur souplesse et en empêchant les globules blancs d'adhérer aux parois des vaisseaux sanguins (Mink et al., 2007), en réduisant le stress oxydatif, en augmentant la libération de prostacycline endothéliale, en améliorant la fonction endothéliale (Erdem et al., 2006), en augmentant la sensibilité des récepteurs de l'insuline, en inhibant l'oxydation des lipides et en inhibant l'enzyme de conversion de l'angiotensine (Engler et al., 2006).

- **Les troubles cardio-métaboliques :**

-

En général, les troubles cardiométaboliques pèsent sur les personnes (Adil et al., 2013). Cependant, ces troubles sont en grande partie évitables. Selon une étude systématique et une méta-analyse, les produits à base de cacao contenant des flavonols ont un potentiel de prévention des troubles cardiométaboliques (Lopez et al., 2011 ; Taubert et al., 2007).

- **La fonction endothéliale et vasculaire :**

Le chocolat noir a induit une amélioration rapide et significative de la fonction endothéliale et plaquettaire chez des fumeurs en bonne santé, 2 à 8 heures après l'ingestion(Vita, 2005). Les fumeurs de cigarettes présentent un potentiel athérogène accru, car ils présentent systématiquement un dysfonctionnement endothélial et plaquettaire, qui est associé à un risque cardiovasculaire accru(Meiss et al., 2005). Ces résultats sont médiés par l'effet antioxydant du chocolat noir riche en polyphénols. L'hypertension et l'excès de poids sont des facteurs de risque importants pour le dysfonctionnement endothélial. Des données récentes suggèrent que le chocolat noir riche en polyphénols améliore la fonction endothéliale et abaisse la tension artérielle dans l'hypertension de stade 1 (Nogueira et Knibel 2012). La consommation de tablettes de chocolat a donc permis de réduire la pression artérielle systolique et diastolique.

- **Hygiène bucco-dentaire :**

Le chocolat noir contient de la théobromine, dont il a été démontré qu'elle durcit l'émail des dents. Cela signifie que le chocolat noir réduit le risque de caries dans le cadre d'une bonne hygiène dentaire. La théobromine est également un stimulant léger, mais pas aussi puissant que la caféine. Elle peut toutefois contribuer à calmer la toux. La théobromine agit en supprimant l'activité du nerf vague, qui provoque la toux et la soigne(Haritha et al., 2014).

- **Comme antioxydant :**

Le chocolat noir est chargé d'antioxydants. Les antioxydants aident à lutter contre les radicaux libres, qui causent des dommages oxydatifs aux cellules (Waterhouse et al., 1996). Les radicaux libres sont impliqués dans le processus de vieillissement et peuvent être une cause de cancer. La consommation d'aliments riches en antioxydants, comme le chocolat noir, peut donc protéger l'organisme contre de nombreux types de cancer et ralentir les signes du vieillissement (Keen et al., 2005).

- **En tant que vitamines et minéraux :**

Le chocolat noir contient un certain nombre de vitamines naturelles, de minéraux et de nutriments qui peuvent contribuer à la santé. Le chocolat noir contient des protéines, des graisses saturées, des calories, des vitamines comme la vitamine B1, la vitamine B2, la vitamine B3, la vitamine B9, la vitamine K, du calcium, des fibres alimentaires, du magnésium, du phosphore, du manganèse, du sélénium, du fer, du potassium, du cuivre et du zinc. Le cuivre et le potassium contenus dans le chocolat noir contribuent à la prévention des accidents vasculaires cérébraux et des maladies cardiovasculaires. Le fer contenu dans le chocolat protège contre l'anémie ferriprive et le magnésium contenu dans le chocolat aide à prévenir le diabète de type II, l'hypertension artérielle et les maladies cardiaques (Haritha et al., 2014).

- **En cas de carence en magnésium :**

Chez le rat, il a été démontré que le magnésium contenu dans le cacao prévient et corrige la carence chronique en magnésium. De faibles apports en magnésium peuvent être responsables de certaines altérations cardiovasculaires ainsi que de troubles rénaux, gastro-intestinaux, neurologiques et musculaires. L'utilisation du cacao pour traiter ou prévenir la carence en magnésium chez l'homme n'a pas été étudiée (Planells et al., 1996).

- **Pour les performances cognitives :**

Les dommages causés par les radicaux libres ont été impliqués dans le déclin cognitif et la perte de mémoire au cours du vieillissement. Une étude utilisant l'imagerie magnétique fonctionnelle chez des jeunes gens en bonne santé a montré que l'ingestion de cacao riche en flavonols était associée à une augmentation du flux sanguin cérébral, ce qui suggère que le cacao pourrait jouer un rôle dans le traitement des déficiences cérébrales, y compris la démence et les accidents vasculaires cérébraux (Haritha et al., 2014).

- **Dans le cancer :**

Des données suggèrent que les aliments riches en flavonoïdes contribuent à la prévention du cancer. Une étude in vitro a montré que les cellules cancéreuses du sein sont sélectivement sensibles aux effets cytotoxiques de la procyanidinepentamérique dérivée du cacao et suggère que l'inhibition de la

prolifération cellulaire par ce composé est associée à la déphosphorylation spécifique du site ou à la régulation à la baisse de plusieurs protéines régulatrices du cycle cellulaire ([Ramljak et al., 2005](#)).

Création du produit :

Nous sommes ravis de vous présenter notre nouveau produit innovant, notre nouvelle gamme de chocolat nommé « **Ben's chocolat** ».



Figure 11 : chocolat enrichi en bêta glucane extrait d'avoine.

- Notre produit, est un chocolat fonctionnel enrichi en bêta glucane d'avoine, s'inscrit dans cette démarche de préservation de la santé des consommateurs tout en répondant aux normes et à leurs besoins nutritifs, ainsi vise à allier plaisir gustatif et bénéfiques pour la santé.
- Le bêta glucane d'avoine est une fibre soluble, un polysaccharide reconnu pour ses effets bénéfiques sur la modulation de la réponse immunitaire et la réduction du cholestérol LDL, contribuant ainsi à la prévention des maladies cardiovasculaires et les diabètes.
- En intégrant cet ingrédient fonctionnel dans notre chocolat, nous transformons un produit souvent associé à la gourmandise en une option nutritionnelle enrichie, reflétant les avancées actuelles dans le domaine de la nutrition fonctionnelle.
- Ce produit s'inscrit donc dans une approche holistique de la santé, alignée avec les tendances contemporaines qui valorisent l'alimentation comme un levier essentiel de bien-être physiologique.
- Notre chocolat est idéal pour ceux qui recherchent une alimentation équilibrée sans renoncer au goût.

CHAPITRE II:

Matériels et Méthodes

Le travail expérimental de ce mémoire a été effectué et réalisé au niveau du laboratoire pédagogique de Biochimie à la Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie de l'université Université Abdelhamid Ibn Badis Mostaganem- Algérie, durant la période comprise entre Avril et juin de l'année 2024.

Objectif de travail :

Il consiste à créer un produit innovant qui est un chocolat enrichis en Bêta-Glucane extrait de l'Avoine. Ainsi de mieux comprendre comment ces deux composants, pris en association, peuvent contribuer à la prévention des maladies chroniques.

II.1. Obtention de l'extrait :

II.1.1. Matériel végétal :

L'avoine utilisée dans cette étude a été achetée des magasins locaux à Mostaganem (Algérie). Cette avoine est connue pour sa qualité et ses propriétés nutritionnelles.



Figure 12 : Avoine utilisé(Photo Personnel).

II.1.2. Matériels d'extraction :

La macération est une opération qui consiste à laisser la poudre du matériel végétal en contact prolongé avec un solvant pour extraire des principaux actifs.

Le tableau ci-dessous représente les différents matériels et les instruments utilisés pour la procédure d'extraction :

Tableau 03 : Liste d'appareils, verreries et produits utilisés pour l'extraction

Appareil	Verreries et autres	Réactifs	Solvant et soluté
<ul style="list-style-type: none"> • Balance (KERN KB) • Plaque agitatrice (Stuart). • Plaque chauffante (Stuart). • Centrifugeuse (SiGma). 	<ul style="list-style-type: none"> • Bêchers de : 600 ml, 200ml, • Eprouvette de 500 ml • Papier aluminium • Cuillère • Boite de pétri en verre . 	<ul style="list-style-type: none"> • NaOH 	<ul style="list-style-type: none"> • Eau distillé • Ethanol (96%)

I.1.3. Mode opératoire :

L'extrait de bêta-glucane a été préparé par macération selon la méthode de ([Ahmad et al., 2010](#)) avec quelques modifications.

- Un échantillon de 100g de l'avoine broyées (farine d'avoine) est macéré dans l'éthanol (80%) pendant 6h, puis mixer avec NaOH (1M) de rapport 1:7. Ensuite agiter sur plaque chauffante avec agitateur magnétique pendant 90 min à 45°C et centrifuger à 15000g pendant 15 min.
- Ajuster le pH de surnageant à 3.5 après centrifuger à 16000g pendant 20 min à 4°C
- Mixer le surnageant avec (80%) de rapport 1:2 pendant 15 min, puis centrifuger à 3500g à 4°C.
- Sécher l'extrait de β -glucane en étuve jusqu'à gélification.
- Peser l'extrait de β -glucane pour calculer le rendement de l'extraction.

- Conserver l'extrait de β -glucane pour l'utilisation ultérieure.

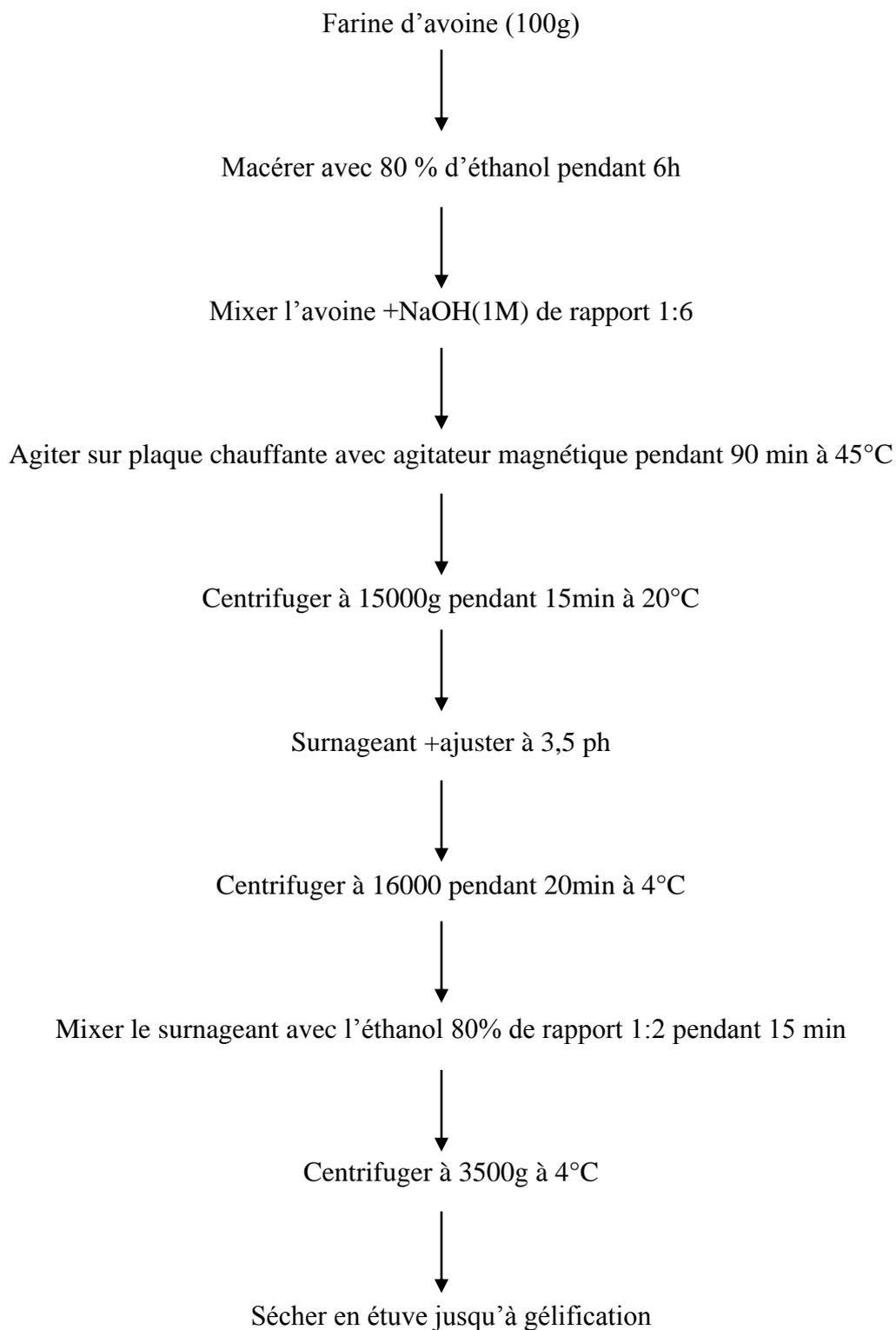


Schéma d'extraction de béta-glucane

II.1.4. Détermination de rendement d'extraction :

Le rendement de l'extraction a été exprimé en pourcentage et calculé selon la formule suivante

$$RT (\%) = \frac{P1 - P2}{P3} \times 100$$

P1 : poids du tube après centrifugation.

P2 : poids du tube avant centrifugation.

P3 : poids de la matière végétale utilisée (de départ) en (g).

II.2. Préparation de produit (chocolat) :

II.2.1. Matériels :

Les différents matériels et les réactifs utilisés sont résumés dans le Tableau.

Tableau 04 : Liste d'appareils et réactifs utilisés pour préparation de produit.

Ingrédients	Verrerie et Autres
<ul style="list-style-type: none"> • Beurre de cacao • Cacao • Sucre • Sel 	<ul style="list-style-type: none"> • Récipient • Cuillère • Balance • Bain marie (maison)

II.2.2. Mode opératoire :

- Un échantillon de 50g de beurre de cacao a été fondu dans un bain marie, ensuite on a ajouté 50g de poudre de cacao et 10g de sucre en poudre et mélanger jusqu'à avoir une texture homogène, après une pincé de sel a été rajouté et bien mélanger.
- Le chocolat a été conservé pour l'utilisation ultérieure dans un endroit sec et frais.

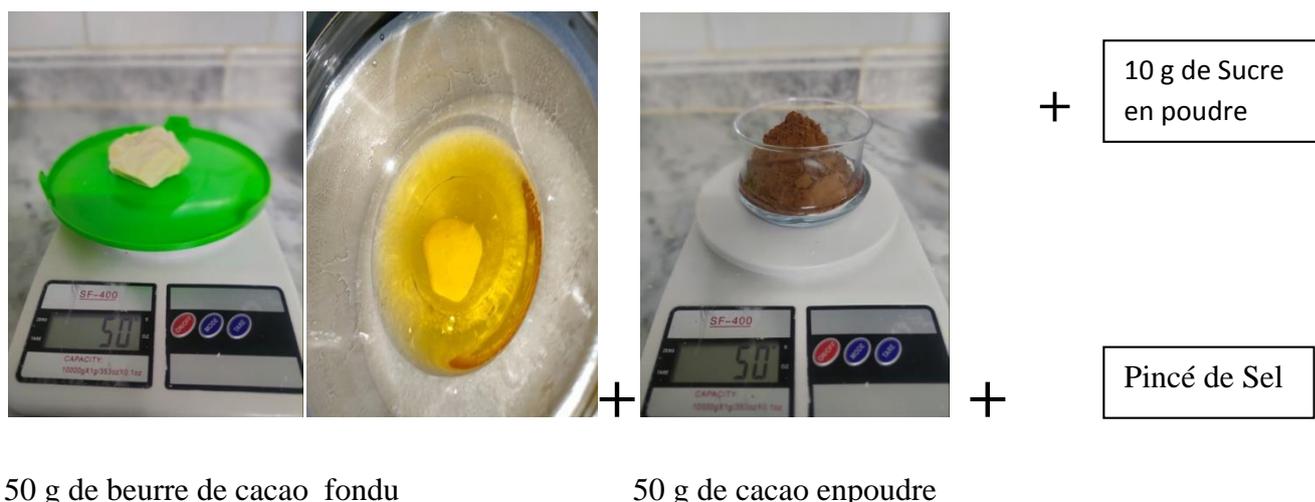


Figure 13 : Les étapes de préparation de chocolat noir (Photos Personnels).

II.3. Préparation de mélange (Chocolat/Extrait de β -glucane) :

- Réchauffer 100g de chocolat dans un bain marie à T 30°C jusqu'à ce qu'il soit fondu ensuite on ajoute 0.5g d'extrait de β -glucane puis on mélange bien pour que l'extrait soit uniformément distribué dans notre chocolat.



Figure 14 : Les étapes de préparation du mélange (chocolat/extrait de β -glucane) (Photos Personnels).

II.4. L'évaluation de l'activité anti-oxydante :

Pour étudier l'activité anti-radicalaire de notre extrait de β -glucane , nous avons opté pour la méthode de DPPH (α , α -diphényl- β -picrylhydrazyle) selon le protocole de (Dangleset al., 1999).

II.4.1. Principe :

Le test est basé sur la mesure de la capacité de piégeage des antioxydants. En recevant un atome d'hydrogène des antioxydants, l'électron impair de l'atome d'azote dans le DPPH est réduit pour former l'hydrazine correspondante (Kedare et Singh, 2011).

Le DPPH (ou 2,2-diphényl-1-picrylhydrazyl) est un radical persistant à température ambiante avec une teinte bleu-violette distinctive (Fadili et al., 2015). Il peut se dissoudre dans l'éthanol ou le méthanol. Il possède un électron non apparié sur un atome du pont azote-azote dans sa structure. Sa stabilité provient de la délocalisation élevée des électrons π le long de la molécule (Barberis et al., 2001).

Lorsque le DPPH réagit avec un antioxydant, un atome d'hydrogène est attaché au radical. Ce fait entraîne une perte de couleur bleu-violette, qui se transforme en coloration jaunâtre en présence d'un antioxydant. Cette perte de couleur est mesurée spectrophotométriquement à 517 nm (El Babili et al., 2020). La diminution de l'absorbance est liée à la concentration en antioxydants, en raison de la réduction de l'intensité de la coloration de la solution DPPH, mesurée à 517 nm.

L'efficacité d'un antioxydant peut être mesurée par sa capacité à réduire le radical. Ceci peut s'observer par le changement de couleur allant du bleu-violet (forme oxydée) au jaune (forme réduite) (kaya et al., 2014 ; fadili et al., 2015).

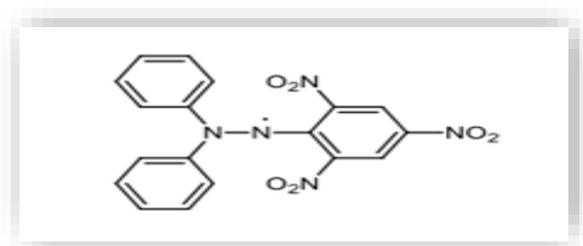


Figure 15 : Structure chimique du radical libre DPPH (Cristina et al., 2009).

II.4.2. Matériels et réactifs :

Les différents matériels et les réactifs utilisés sont résumés dans le tableau suivant.

Tableau 05 : Liste d'appareils et réactifs utilisés pour l'activité antioxydant.

Appareil	Verrerie et Autres	Réactifs	Solvant et Solutés
<ul style="list-style-type: none"> • Balance (KERN kb) • Vortex (Stuart) • Spectrométrie (JENWAY) 	<ul style="list-style-type: none"> • Becher 500ml-200ml-100ml • Micropipettes (1000ul-50ul-25ul). • Les embouts. • Les tubes à essai. • Portoir. • Ependorfs • Papier aluminium. 	<ul style="list-style-type: none"> • L'extrait de β-glucane • Le DPPH (2,2 diphényle-1-picrylhydrazyl) • L'acide ascorbique 	<ul style="list-style-type: none"> • Eau distillée • Ethanol 96

II.4.3. Mode opératoire :

II.4.3.1. Préparation du DPPH :

2,8mg de DPPH (2,2- diphényle -1-picrylhydrazine) est dissous dans 70 ml de l'éthanol pure (C_2H_6O) pour obtenir une solution de DPPH.

II.4.3.2. Préparation des échantillons :

- 340 mg d'extrait de β -glucane est dissout dans 1ml d'éthanol (C_2H_6O), à partir de cette concentration ; on prépare 4 tubes moins concentré que le premier ; on prépare (340 ; 170 ; 85 ; 42.5) en ajoutant 25 μ L de DPPH.
- Le mélange obtenu est ensuite gardé à l'abri de lumière à température ambiante pendant 30 minutes, la lecture de la densité optique à 517 nm.

L'activité anti radicalaire est estimée, en calculant le pourcentage d'intuition :

$$PI\% = [(Abs\ contr\ôle - Abs\ extrait) / Abs\ contr\ôle] \times 100$$

L'acide ascorbique a été utilisé comme contrôle positif à différentes concentrations. Le mécanisme réactionnel du test DPPH est présenté dans la figure (**figure 16**). La lecture de la densité optique à 517 nm.

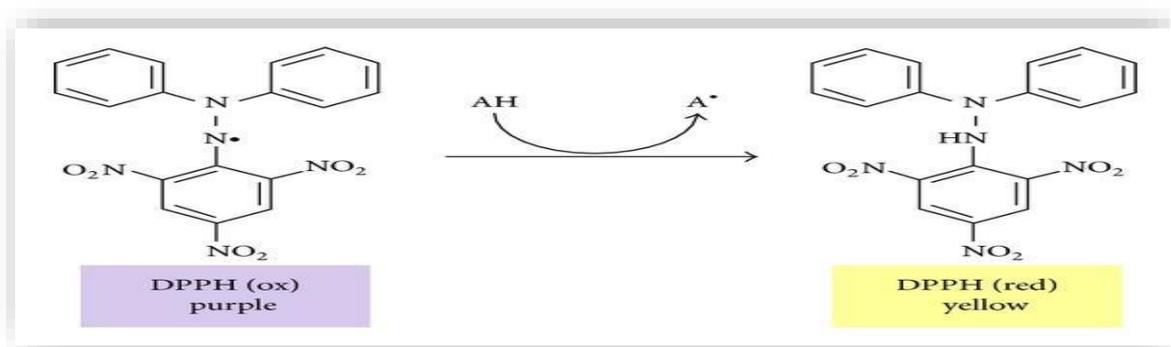


Figure 16 : Piégeage du radical DPPH avec l'antioxydant (AH) (José *et al.*, 2013).

II.4.4. Courbe d'étalonnage de l'acide ascorbique :

On prépare des solutions d'acide ascorbique (vitamine C) de différentes concentrations et le même protocole est suivi pour les échantillons. Un spectrophotomètre (UV- visible) à une longueur d'onde 517 nm est utilisé pour la lecture des résultats.

II.4.5. Calcul des IC50 :

IC50 (concentration inhibitrice de 50 %) est la concentration de l'échantillon nécessaire pour réduire 50 % du radical DPPH, également connue sous le nom d'EC50 (Efficient concentration 50).

L'IC50 est calculée graphiquement en utilisant les pourcentages d'inhibition en fonction de différentes concentrations des extraits testés (Torres, 2006).

II.5. L'évaluation de l'activité antidiabétique :

II.5.1. Matériels et réactifs :

Les différents matériels et les réactifs utilisés sont résumés dans le tableau suivant.

Tableau 06 : Liste d'appareils et réactifs utilisés pour l'activité antidiabétique :

Appareil	Verrerie et Autres	Réactifs	Solvant et Solutés
<ul style="list-style-type: none"> Balance (KERN KR) Vortex 	<ul style="list-style-type: none"> Bicher (500ml, 100ml) Propipet 	<ul style="list-style-type: none"> L'extrait de β-glucane Alpha- 	<ul style="list-style-type: none"> Ethanol Eau distille

<ul style="list-style-type: none"> • Etuve • Plaque agitatrice • Spectromètre (JENWAY) 	<ul style="list-style-type: none"> • Pipet 10ml • Micropipets • Amonts • Tubes à essai • Papier aluminium. • 	<ul style="list-style-type: none"> • amylose. • Amidon • Hcl • Tampon phosphate (PBS) • Iodine+KI 	
---	--	--	--

II.5.2. Mode opératoire :

II.5.2.1. Préparation des réactifs :

- Alpha-amylase : 100mg d'enzyme alpha-amylase (0.02 unités) + 100 ml tampon (NaCl : 8g/L, KCl : 0.2g/L, Na₂HPO₄ : 1.42g/L, KH₂PO₄ : 0.24g/L)
- 1%Amidon : 1g → 100 ml d'eau distillé.
- 10%Hcl : 10 ml Hcl → 10 ml d'eau distillé.
- Iodine + KI

II.5.2.2. Préparation des concentrations :

340 mg d'extrait de β-glucane est dissout dans 1ml d'éthanol (C₂H₆O), à partir de cette concentration ; on prépare 4 tubes moins concentré que le premier ; on prépare (340 ; 170 ; 85 ; 42.5) → 0.5 – 0.5 ml éthanol.

II.5.2.3. Préparation des échantillons :

- 50 µl d'extrait de β-glucane + 50 µl de solution d'enzyme alpha-amylase → incubation 37°C pendant 10 min.
- + 200 µl d'amidon (1%) → incubation 37°C pendant 20 min.
- + 300 µl de Hcl (10%) + 300 µl d' (Iodine + KI).
- + 8 ml d'eau distillé.
- La lecture à 620 nm.

L'activité antidiabétique est estimée, en calculant le pourcentage d'intuition :

$$\left[1 - \frac{[(A^- \text{ controle}) - (A^+ \text{ controle})] - (A)}{(A^- \text{ controle}) - (A^+ \text{ controle})} \right] * 100$$

A⁻ contrôle : désigne l'absorption de 0% d'activité enzymatique (sans enzyme).

A⁺ contrôle : désigne l'absorption de 100% d'activité enzymatique (avec enzyme).

A : désigne l'absorption de l'échantillon.

II.5.3. Courbe d'étalonnage d'acarbose :

On prépare des solutions d'acarbose de différentes concentrations et le même protocole est suivi pour les échantillons. Un spectrophotomètre (UV- visible) à une longueur d'onde 517 nm est utilisé pour la lecture des résultats.

Chapitre III:

Résultats et Discussions

Chapitre III : Résultats et discussion

III .1. Rendement d’extraction :

L’extrait de β-glucane obtenu de farine d’avoine :

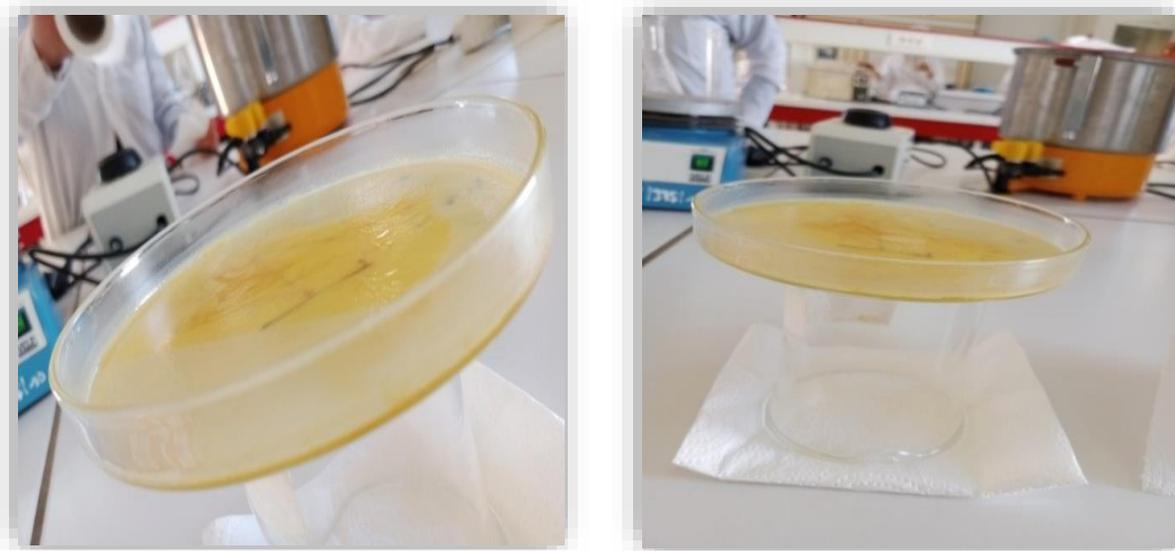


Figure 17 : l’extrait de β-glucane (photos personnels).

Le rendement de l’extraction se calcule par rapport à la masse de l’extrait et la masse de la matière première végétale.

Le rendement exprimé en pourcentage est calculé suivant la formule suivante:

$$RT(\%) = ((P1 - P2)/P3) \times 100$$

P1: poids du tube après centrifugation ;

P2: poids du tube avant centrifugation ;

P3: poids de la matière végétale de départ

Avec :

P1	204.30 g
P2	171.77 g
P3	100 g

Nous avons calculé le rendement de l’extraction, le résultat obtenu est :

32.53 %

Il est représenté dans la figure suivante :

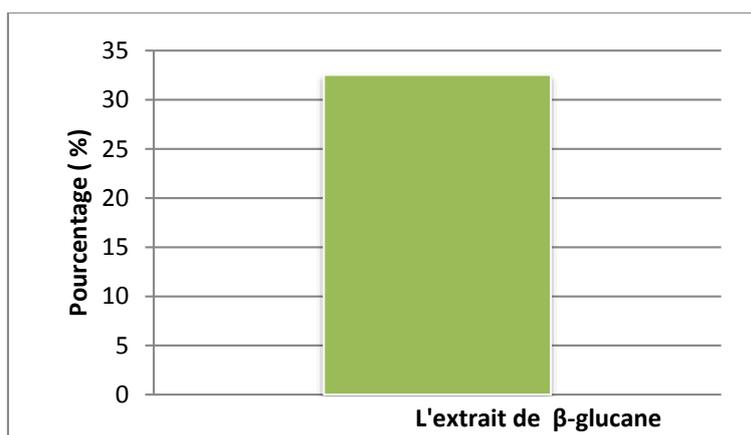


Figure 18: Histogramme de rendement d'extraction.

D'après le résultat obtenu et qui est résumé dans l'Histogramme ci-dessus (**figure 18**), la valeur de rendement d'extraction de l'extrait de β -glucane est de **32.53%**, supérieur à celui obtenu par (**Ahmad et al., 2010**) qui est **5.14%** selon la méthode d'extraction par enzyme. Dans une autre étude le rendement obtenu était environ **4.99%** (**Mebrek et al., 2018**).

Le calcul de rendement d'extraction repose sur plusieurs paramètres : le solvant, le pH, la température, le temps d'extraction et la composition de l'échantillon (**Santos et al., 2012**). La période et le lieu de récolte influent sur le rendement d'extraction selon (**Touaibia et al., 2014**). Ainsi que les concentrations utilisées jouent un rôle principal dans le rendement obtenu.

III.2. Produit + Emballage :



Figure 19 : produit final –Chocolat- (**photo personnel**).



Figure 20 : Emballage de produit (photo personnel).

III.3. Détermination de l'activité antioxydante de bêta-glucane extrait de l'avoine:

L'évaluation de l'activité antioxydante de l'extrait de β -glucane a été effectuée par une méthode. Cette méthode est basée sur l'effet piègeur des radicaux libres, évalué par le test de piégeage du radical libre DPPH.

III.3.1 Pourcentage d'inhibition de radical DPPH :

On évalue l'activité antioxydante en se basant sur la méthode du test DPPH. 2,2-diphényl-1-picrylhydazyle est un radical violet qui absorbe dans l'ultraviolet visible à une longueur d'onde de 517 nm.

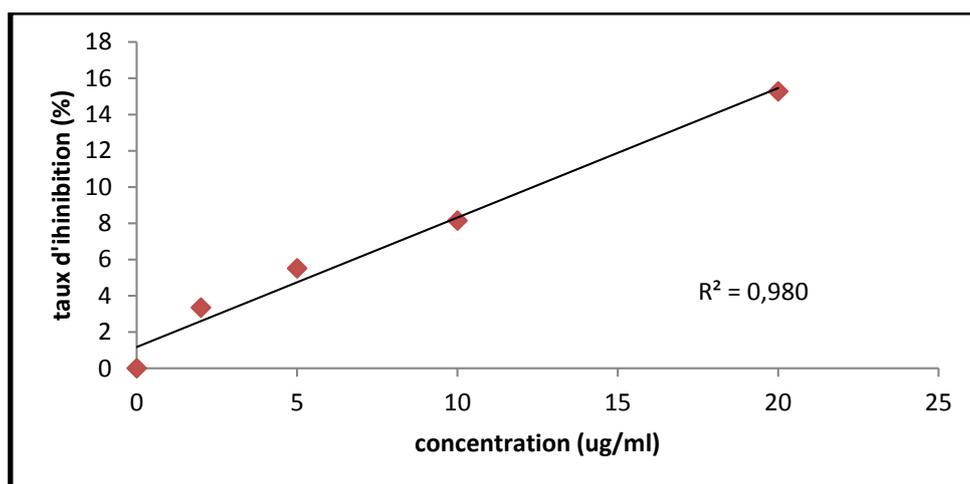


Figure 21 : Le pourcentage de piégeage du radical DPPH en fonction de la concentration de l'acide ascorbique (Vitamine C).

La réduction du radical libre DPPH par un antioxydant peut être suivie par spectrophotométrie UV-visible, en mesurant la diminution de l'absorbance à 517 nm. Le DPPH est d'abord de couleur violette, mais se décolore en jaune lorsque l'électron se combine (**Figure 22**).

Les réactions se déroulent à température ambiante et dans un environnement éthanolique, ce qui favorise une solubilisation efficace de la majorité des antioxydants. Ce test est largement employé, car il est rapide, simple et sans frais.

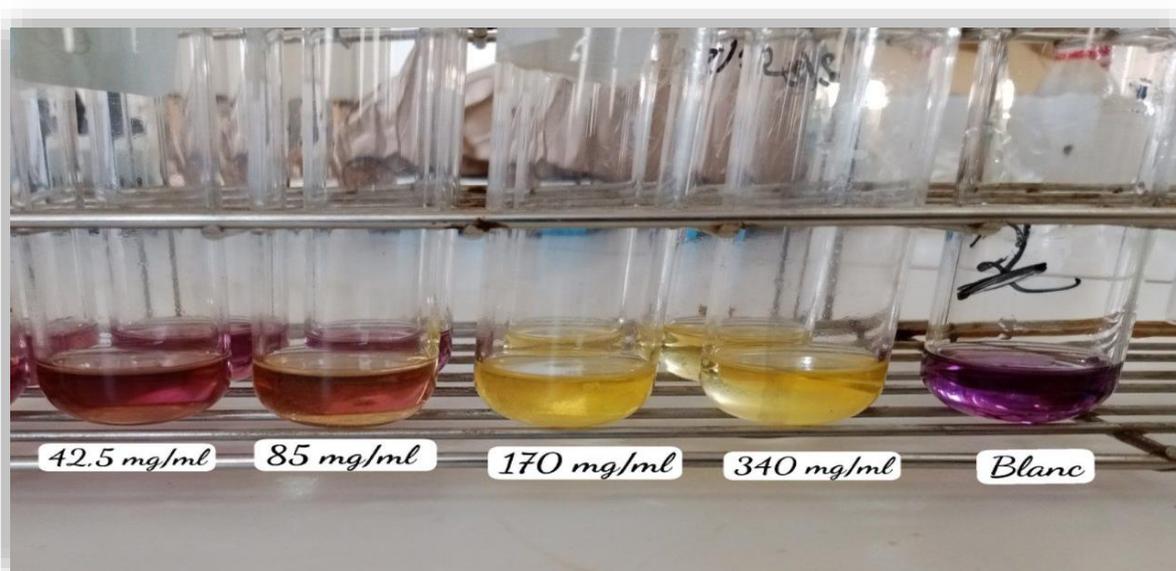


Figure 22 : Résultats d'activité antioxydant (changement de couleur) (Photo personnel).

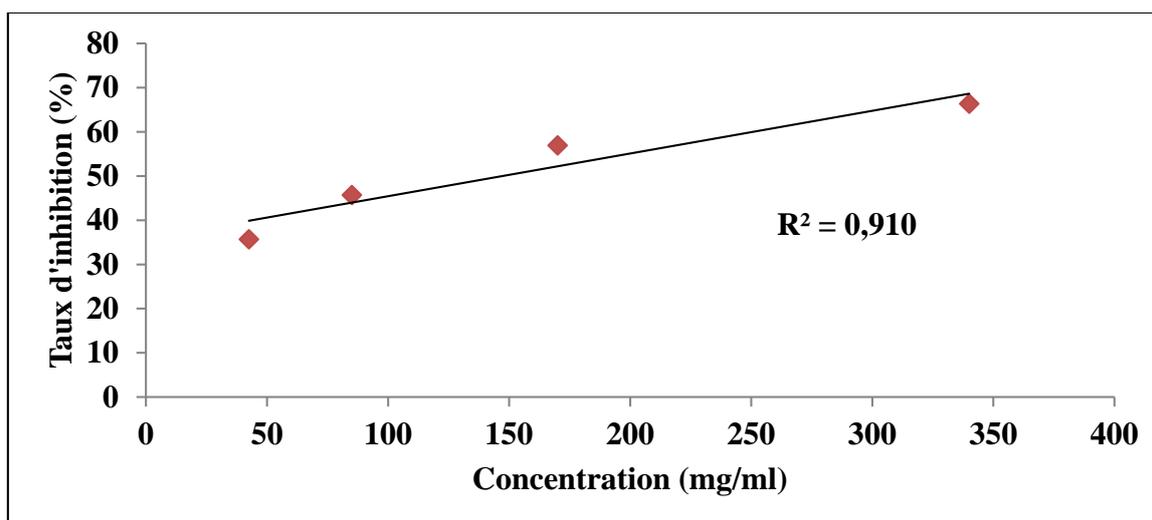


Figure 23 : Le pourcentage de piégeage du radical DPPH en fonction de la concentration de l'extrait de β-glucane .

III.3.2. Détermination de l'IC₅₀ (Concentration inhibitrice 50%) :

L'IC₅₀ exprime la quantité d'antioxydant requise pour diminuer la concentration du radical libre de 50%, ou la concentration inhibitrice à 50 %, est la concentration de l'extrait qui est nécessaire pour réduire l'activité initiale du radical DPPH de 50%.

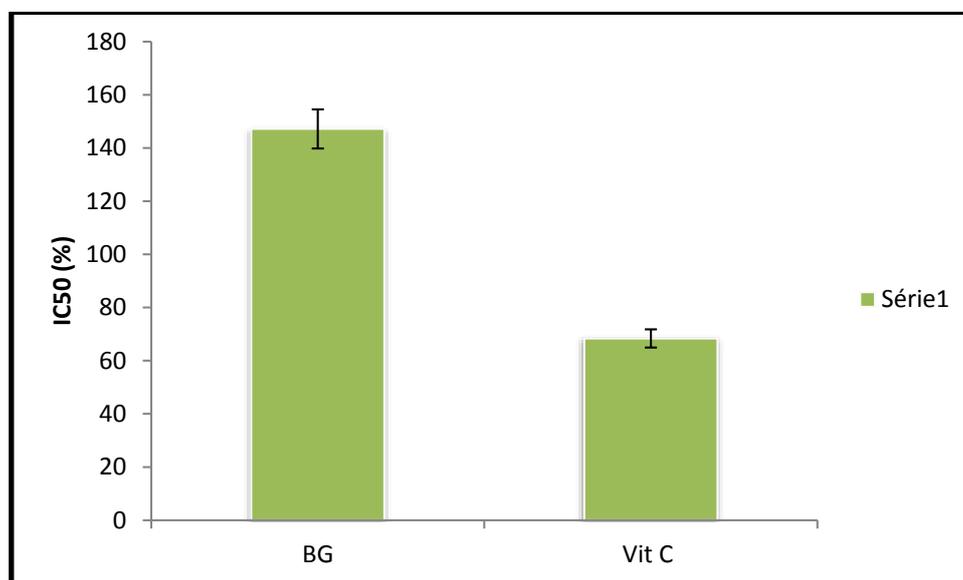
La concentration de l'échantillon nécessaire pour inhiber 50% (IC₅₀) du DPPH radicalaire, est calculée par régression linéaire des pourcentages d'inhibition calculés en fonction de différentes concentrations d'extrait préparé (déterminée graphiquement). Plus la valeur de l'IC₅₀ est faible, plus l'extrait est efficace pour neutraliser les radicaux libres, indiquant une forte activité antioxydant.

Dans cette étude, L'IC₅₀ est déterminée à partir d'une courbe de pourcentage d'inhibition du radical libre DPPH enregistrée dans cette étude (**147.2±0.025 ug/ml**), concernant la vitamine C, l'IC₅₀ est (**68.4 µg/ml**) qui montre un pouvoir antioxydant plus efficace que le BG d'avoine. Donc l'acide ascorbique reste l'antioxydant qui présente la meilleure activité.

La valeur de notre étude peut être comparée à d'autres substances connues pour leur activité antioxydant. Selon l'étude de **Aicha et Halima, 2020** montrent que l'effet de l'extrait de Raetama Sphaerocarpa l'EM-Rs sur DPPH est avec IC₅₀ de (**688,74 µg/ml**).

Tableau 07 : IC50 de DPPH d'acide ascorbique (Vit C) et d'Extrait :

IC50 de DPPH d'acide ascorbique (Vit C)	68.4µg/mg
IC50 de DPPH d'Extrait de β-glucane	147.2 ug/ml

**Figure 24** : Histogramme d'effet de bêta-glucane d'avoine et acide ascorbique (Vit C) sur DPPH exprimé en IC50.

III.4. Détermination de l'activité antidiabétique :

III.4.1. Pourcentage d'inhibition de l'enzyme α -amylase :

L'action inhibitrice de l' α -amylase est responsable de la diminution de la vitesse d'inclusion du glucose. Pour l'inhibition enzymatique, le bêta-glucane d'avoine a fonctionné de manière dose-dépendante.

La Figure montre l'effet de bêta-glucane d'avoine comme inhibiteurs naturels de l'enzyme α -amylase. Nous remarquons que le pourcentage d'inhibition de l'enzyme augmente linéairement à la concentration.

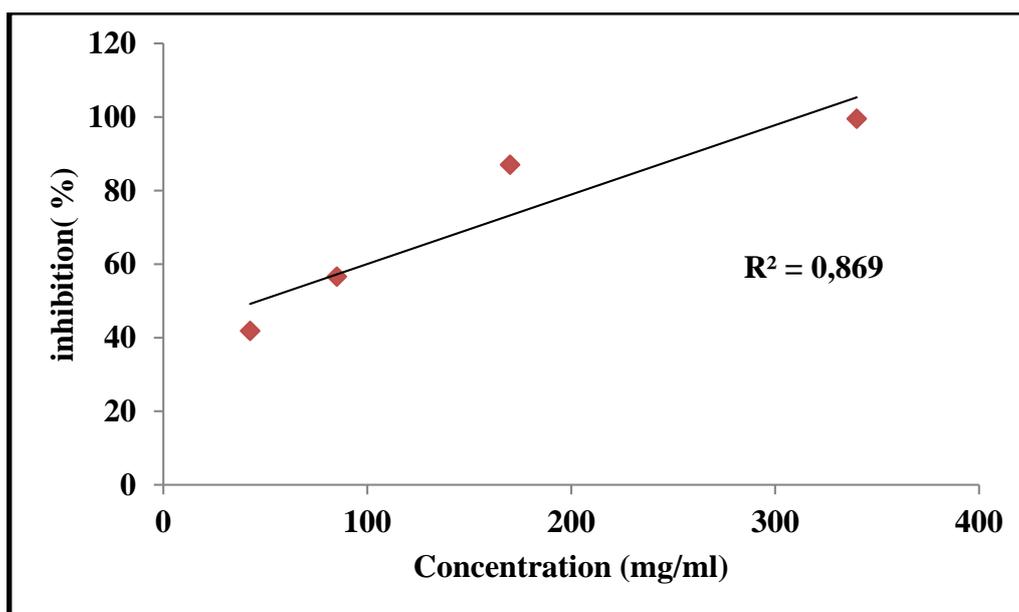


Figure 25 : Activité inhibitrice de l' α -amylase induite par β -glucane d'avoine.

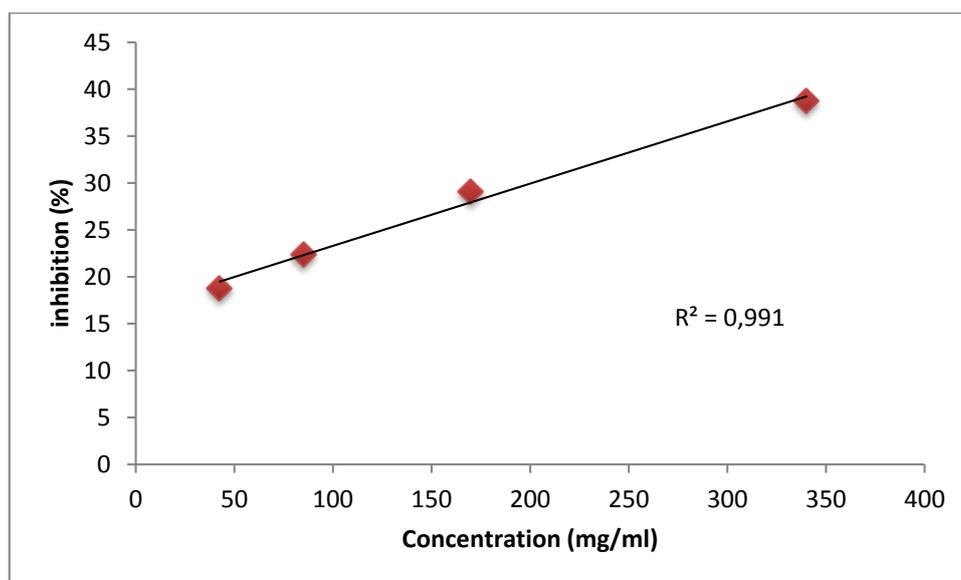


Figure 26 : Activité inhibitrice de l' α -amylase induite par Acarbose .

III.4.2. Détermination de l'IC50 :

Dans cette étude, l'activité antidiabétique d'extraît de β -glucane a été obtenu en utilisant l'enzyme α -amylase, ou le BG d'avoine a inhibé l' α -amylase avec IC50 $47,07 \pm 1,34 \mu\text{g/ml}$, qui peut être comparé avec le standard Acarbose avec IC50 de $83,33 \pm 0,34 \mu\text{g/ml}$.

D'après ces résultats on prouve que le BG d'avoine reste l'antidiabétique le plus efficace par rapport à l'acarbose.

Ainsi, dans autre étude de (Nguelefack *et al.*, 2020) qui montrent que l'IC50 des extraits aqueux (AE) de l'écorce de Ceibapentandras'est avérée être de **54.52 µg/ml**. De plus, une autre étude de (Akyüz, 2022) qu'il a trouvé que les extraits aqueux (AE) de fruit de mûre (*Rubusfruticosus L.*) ayant des effets inhibiteurs puissants contre l'enzyme α -amylase avec IC50 110 µg/ml.

Tableau 08 : Effet de bêta-glucane d'avoine et Acarbose sur l'a-amylase exprimé en IC50.

Bêta-glucane d'avoine	47.07±1.34 ug/ml
Acarbose	83.33±0.34 ug/ml

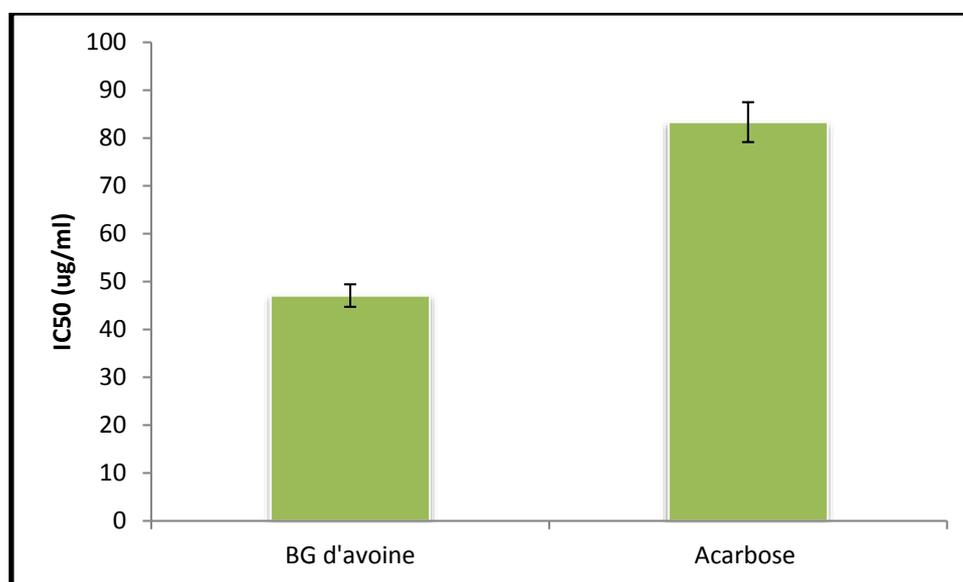


Figure 27 : Histogramme comparative d'effet de bêta-glucane d'avoine et Acarbose sur l' α -amylase exprimé en IC50.

CONCLUSION

Ce mémoire a permis de développer un produit fonctionnel innovant : un chocolat enrichi en bêta-glucane d'avoine, reconnu pour ses nombreuses propriétés bioactives, notamment antioxydants et antidiabétiques. Dans le cadre de notre recherche nous avons d'abord réalisé l'extraction de bêta glucane à partir de l'avoine, ensuite nous avons procédé par la préparation de chocolat enrichi par cet extrait. Par la suite nous avons évalué les activités biologiques essentielles de l'extrait de bêta glucane : l'activité antioxydante et l'antidiabétique.

Nous avons obtenu des résultats intéressants suivants :

- En ce qui concerne le rendement d'extraction des bêta-glucanes d'avoine est **32,53 %**, ce qui témoigne de l'efficacité de notre processus d'extraction.
- L'activité antioxydante de l'extrait de bêta-glucane a été mesurée par la méthode DPPH, nous avons obtenu un IC50 de **147.2±0.025µg/ml**. Pour évaluer la performance antioxydante, nous avons comparé ces résultats à ceux de la vitamine C, une référence, avec un IC50 de **68.4µg/ml**. Bien que la vitamine C présente une activité antioxydante plus élevée, l'extrait de bêta-glucane démontre une capacité notable à neutraliser les radicaux libres, ce qui en fait un candidat prometteur dans la lutte contre le stress oxydatif, un facteur clé dans le développement de nombreuses maladies chroniques.
- En parallèle, nous avons évalué l'activité antidiabétique de l'extrait en utilisant la méthode d'inhibition de l'alpha-amylase. L'IC50 de l'extrait de bêta-glucane d'avoine a été évalué à **47.07±1.34µg/ml**, nous avons comparé ces résultats à ceux de l'acarbose **83.33±0.34 µg/ml** montrant une efficacité comparable à certains inhibiteurs pharmaceutiques classiques utilisés dans la gestion du diabète. Ces résultats indiquent que le bêta- glucane possède un potentiel significatif en tant qu'agent antidiabétique naturel, capable de contribuer à la régulation des niveaux de glucose dans le sang.

Ces résultats mettent en lumière le potentiel des bêta-glucanes en tant qu'ingrédients fonctionnels pour le développement de nouveaux produits alimentaires visant à améliorer la santé humaine. L'intégration de cet ingrédient dans des produits populaires tels que le chocolat représente une avancée significative dans l'optimisation de la valeur nutritionnelle tout en maintenant un attrait gustatif.

Toutefois, bien que nos résultats soient prometteurs, des recherches supplémentaires sont nécessaires pour mieux comprendre les mécanismes d'action des bêta-glucanes, et pour isoler les composés bioactifs responsables de ces effets.

Ainsi, ce mémoire ouvre des perspectives intéressantes pour l'utilisation des bêta-glucanes dans la création de nouveaux produits fonctionnels, tout en contribuant à enrichir les connaissances sur les polysaccharides naturels et leur rôle dans la prévention des maladies chroniques, en particulier dans le cadre des maladies métaboliques.

REFERENCES

BIBLIOGRAPHIES :

(01) Groupe scientifique de l'EFSA sur les produits diététiques. Nutrition et Allergies (NDA) Avis scientifique sur le bien-fondé des allégations de santé liées aux bêta-glucanes de l'avoine et de l'orge et au maintien de concentrations sanguines normales de cholestérol LDL, à l'augmentation de la satiété entraînant une réduction de l'apport énergétique, à une réduction de la glycémie post-prandiale réponses et « fonction digestive » conformément à l'article 13, paragraphe 1, du règlement (CE) n° 1924/2006. EFSA J. 2011 ; 9 : 2207.

(02) Groupe scientifique de l'EFSA sur les produits diététiques. Avis scientifique sur la nutrition et les allergies (NDA) sur la justification d'une allégation de santé relative au bêta- glucane d'avoine et à la diminution du cholestérol sanguin et à la réduction du risque de maladie cardiaque (coronarienne), conformément à l'article 14 du règlement (CE) n° 1924/2006. EFSA J. 2010 ; 8 : 1885.

(03) Administration des aliments et des médicaments. Étiquetage des aliments : allégations relatives à la santé ; Fibres solubles provenant de certains aliments et risque de maladie coronarienne. Volume 73 du Registre fédéral ; Washington, WA, États-Unis : 2008.

A

1. Adil ,M..S., Amer ,K., Nematullah, K.,Ihtisham, S., Aamer, K., Maazuddin., Omer,M, Amir, S.,2013. Role of dark chocolate in minimising the risk of cardio-metabolic syndrome. Indo American Journal of Pharmaceutical Research.3 (8): 6469-6476

2. Ahmad, A., Anjum, F. M., Zahoor, T., Nawaz, H., Dilshad, S. M. R., 2012. Beta glucan: a valuable functional ingredient in foods. Critical reviews in food science and nutrition, 52(3), 201-212.

3. Akyüz, M., 2022. The determination of antidiabetic, anticholinesterase and antioxidant properties of ethanol and water extracts of blackberry (*Rubus fruticosus* L.) fruits at different maturity stages. South African Journal of Botany, 151, 1035-1048.

4. 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.

B

- 5. Barberis, C.,2001.** Generation, stabilité et utilité des organolithiens benzyls chiraux. Université Laval
- 6. Bell, S., Goldman, V.M., Bistrain, B.R., Arnold, A.H., Ostroff, G., Forse, R.A., 1999.** Effect of beta-glucan from oats and yeast on serum lipids. *Crit Rev Food Sci Nutr.* 39(2), p.189-202.
- 7. Brown, G.D., 2006.** Dectin-1: a signalling non-TLR pattern-recognition receptor. *Nat Rev Immunol.* 6(1), p. 33-43
- 8. Burton, R. A., et Fincher, G. B.,2009.** (1,3;1,4)- β -D-glucans in cell walls of the Poaceae, lower plants, and fungi: a tale of two linkages. *Molecular Plant.* 2, p. 873-882.

C

- 9. Chen, J., Raymond, K., 2008.** Beta-glucans in the treatment of diabetes and associated cardiovascular risks. *Vascular health and risk management,* 4(6), 1265-1272..
- 10. 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.
- 11. Cristina, P., Ilonka, S., Bartek, T.,2009.** Evaluation de l'activité antioxydante des composés phénoliques par la réactivité avec le radical libre DPPH, *Revue de génie industriel* 4,25-39, p : 28.

D

- 12. Dangles, B., 1999.** One electron oxidation of quercetin and quercetin derivatives in protic and non protic media. *Journal of the chemical society, Perkin transaction Z,* 1387-1395. *Dentistry,* 37: 413-423. Ed. Lavoisier. Paris, pp 43-46.
- 13. Daverio, S.,2005.** Le chocolat dans tous ses états. Thèse de doctorat en pharmacie. Université Henri Poincaré. pp : 163.

14. **Djermoun, A., 2009.** La production céréalière en Algérie: les principales caractéristiques. *Nature & Technology*, (1), 45.
15. **Di Tomaso, E., Beltramo, M., Piomelli, D.,1996.** Brain cannabinoids in chocolate. *Nature*, 382(6593), 677-678.
16. **Du, B., Lin, C. Y., Bian, Z. X., Xu, B. J. ,2015.** An insight into anti-inflammatory effects of fungal beta-glucan. *Trends in Food Science and Technology*.41, p. 49-59
17. **Du, B., Meenu, M., Liu, H., & Xu, B. ,2019.** A concise review on the molecular structure and function relationship of β -glucan. *International journal of molecular sciences*, 20(16), 4032.

E

18. **El Babili, F., Nicole, L-M., Caroline, V., romainl., Arthur, H.,2020.** ICH Validation of DPPH Assay Method: Some Interesting Medicinal Drugs. Volume 6, Issue 2
19. **Engler, M.B., Engler, M.M., 2006.**The emerging role of flavonoid-rich cocoa and chocolate in cardiovascular health and disease. *Nutrition Reviews*. 64(3):109-118.
20. **Erdman Jr, J. W., Carson, L., Kwik-Urbe, C., Evans, E. M., & Allen, R. R. ,2008.** Effects of cocoa flavanols on risk factors for cardiovascular disease. *Asia Pacific journal of clinical nutrition*, 17.

F

21. **Fadili, K ., Amalich, S., 2015.**Teneurs en polyphénols et évaluation de l'activité antioxydante des extraits de deux espèces du Haut Atlas du Maroc: *Rosmarinus Officinalis* et *Thymus Satureioides*. *Int J InnovSciRes ISSN*. 17: p. 2351- 8014.
22. **Fincher, G.B., et Stone, B.A., 2004.** Chemistry of non-starch polysaccharides. in Wrigley, C., Corke, H., Walker, C.E., eds. *Encyclopedia of Grain Science*. Elsevier, Oxford, UK. p.206-223.
23. **Finley, J.,2014.** <https://www.lapresse.ca/vivre/sante/nutrition/201403/18/01-4748986-les-bienfaits-pour-la-sante-du-chocolat-noir-sont>

elucides.php?fbclid=IwAR2ctyMcXrmsdxftyTXkVFX3K83_80dbj_7B2cTHDjqgi8T
mjwxA

24. Fressenel, M.R.,2018. <https://www.cuisineaz.com/articles/la-composition-du-chocolat-blanc-avec-quoi-est-il-fabrique>
2249.aspx?fbclid=IwAR0DPcjncYj9_q2YzrFSuQRj0HQweliSNXhPxp27GNDQNth5
PWY D2CFgx58.

G

25. Ghanbari R, Anwar F, Alkharfy KM, Anwarul-Hassan G, Saari N.,2012. Valuable Nutrients and Functional Bioactives in Different Parts of Olive (*Olea europaea* L.)—A Review. *International Journal Molecular Sciences*. 13(3):3291–3340.

26. Gboghri, G.,2019. Impact de la fermentation sur les propriétés antioxydantes, anti-inflammatoires et immunomodulatrices du cacao. Thèse de doctorat. L'université de Montpellier. P 1-211.

27. Gomez, M., Moraleja.A.,Oliete, B., Ruiz, E., Caballero, P.A.,2010. Effect of fibre size on the quality of fibre-enriched layer cake. *Lwt-food science and technology*.43,p.33-38.

28. Goodridge.,Andrea.,Helen, S., Wolf David, M., 2009. Underhill β -glucan recognition by the innate immune system. *Immunological Reviews*. 230, p. 38–50.

29. Grassi,D., Lippi, C., Necozione,S., Desideri,G, Ferri,C.,2005. Short-term administration of dark chocolate is followed by a significant increase in insulin sensitivity and a decrease in blood pressure in healthy persons. *American Journal of Clinical Nutrition*. 81(3): 611-614.

H

30. Haritha, K., Kalyani, L., Rao, A. L., 2014. Health benefits of dark chocolate. *Journal of advanced drug delivery*, 1(4), 184-195.

- 31. Heiss, C., Kleinbongard, P., Dejam, A., 2005.** Acute consumption of flavonol-rich cocoa and the reversal of endothelial dysfunction in smokers. *Journal of the American College of Cardiology*. 46(7): 1276-1283.
- 32. Hermann, F., Spieker, L.E., Ruschitzka, F., Sudano, I., Hermann, M., Binggeli, C., Luscher, T.F., Riesen, W., 2006.** Dark chocolate improves endothelial and platelet function. *Heart*. 92: 119-120.
- 33. Henry, R.J., 1987.** Pentosan and (1→3), (1→4) β-Glucan concentrations in endosperm and whole grain of wheat, barley, oats and rye. *J Cereal Sci*. 6, p. 253-258
- 34. Husson, O., Charpentier, H., Michellon, R., Razanamparany, C., Moussa, N., Enjalric, F., Naudin, K., Dramnana, R. et 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
- 35. Isidro-Sánchez, J., Prats, E., Howarth, C., Langdon, T., & Montilla-Bascón, G., 2020.** Genomic approaches for climate resilience breeding in oats. *Genomic designing of climate-smart cereal crops*, 133-169.
- 36. Inglett, G.E., Carriere, C.J., Maneepun, S. et Tungtrakul, P., 2004.** A soluble fibre gel produced from rice bran and barley flour as a fat replacer in Asian foods. *International Journal Food Science and Technology*, 39(1), p. 1-10.

J

- 37. Jacobs Jr, D. R., Gallaher, D. D., 2004.** Whole grain intake and cardiovascular disease: a review. *Current atherosclerosis reports*, 6(6), 415-423.
- 38. Johansson, L., Karesoja, M., Ekholm, P., Virkki, L., & 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(1), 180-184.

39. José, T., Gaspar, A., Garrido, E. M., Garrido, J. Et Borges, F., 2013. Hydroxycinnamic Acid Antioxidants: An Electrochemical Overview. *Bio Med Research International*

K

40. Kaya, G., 2014. La dermatoporose. *Vieillesse cutanée Skin ageing*, 24.

41. Kedare, S. B. Et Singh, R. P., 2011. Genesis and development of DPPH method of antioxidant assay. *J. Food Sci. Technol*, 48 (4), 412–422.

42. Keen, C.L., Holt, R.R., Oteiza, P.I., Fraga, C.G., Schmitz, H.H., 2005. Cocoa antioxidants and cardiovascular health. *American Journal of Clinical Nutrition*. 81(1): 298S-303S.

L

43. Latif, R., 2013. Chocolate/Cocoa and Human Health: A Review. *the journal of medicine*. 71(2):63-8

44. Lairon, D., Play, B., et Jourdeuil-Rahmani, D., 2007. Digestible and indigestible carbohydrates: interactions with postprandial lipid metabolism. *The Journal of nutritional biochemistry*, 18(4), 217-227..

45. Leopold., 2019. leopold-macarons. (Leopold, Éditeur, & KORIGAN) Consulté le 03/27/2021, sur leopoldmacarons: https://www.leopoldmacarons.com/chocolatssanssucres/tablette-chocolat-sans-sucres-lait75.html?fbclid=IwAR2ctyMcXrmsdxftyTXkVFX3K83_80dbj_7B2cTHDjqgi8TmjwxAjP4Om54

46. Lima, GPP, Vianello, F., Corrêa, CR, Campos, RADS, & Borguini, MG., 2014. Polyphénols dans les fruits et légumes et leurs effets sur la santé humaine. *Sciences de l'alimentation et de la nutrition*, 1065-1082.

47. Lobo V, Patil A, Phatak A, Chandra N., 2010. Free radicals, antioxidants and functional foods: Impact on human health. *Pharmacognosy Review*. 4(8):118–126.

48. Lopez, A.B., Sanderson, J., Johnson,L.,Samantha,W., Wood, A., Angelantio, E.D.,Franco, O.H.,2011.Chocolate consumption andcardiometabolic disorders. *BMJ*.343: 1-8.

49. Ludwig, D.S., 2003. Dietarglycemic index and the regulation of body weight. *Lipids*, 38(2), 117-121.

M

50. Ma, N., Li, R., You, S.,Zhang, D. J.,2024. Fermentation enrichment, structural characterization and immunostimulatory effects of β -glucan from Quinoa. *International Journal of Biological Macromolecules*, 267, 131162.

51. Mink, P.J., Scrafford, C.G., Barraaj, L.M., 2007. Flavonoid intake and cardiovascular disease mortality. *American Journal ofClinical Nutrition*. 85(3): 895-909.

52. Mizuno, M., Kawakami, S., Fujitake, N., 2003. Macrophages Stimulated by Polysaccharide Purified from *Agaricusbrasiliensis*. *Int J Medic Mush*. 5, p. 5-9.

53. Montagna, M. T., Diella, G., Triggiano, F., Caponio, G. R., Giglio, O. D., Caggiano, G., et Portincasa, P., 2019. Chocolate,“food of the gods”: History, science, and human health.*International Journal of Environmental Research and Public Health*, 16(24), 4960.

N

54. Nguiefack, T. B., Fofie, C. K., Nguiefack-Mbuyo, E. P., et Wuyt, A. K. ,2020. Multimodal α -Glucosidase and α -Amylase Inhibition and Antioxidant Effect of the Aqueous and Methanol Extracts from the Trunk Bark of *Ceiba pentandra*. *BioMed research international*, 2020(1), 3063674.

55. Nilsson, M., Åman, P., Harkonen, H., Hallmans, G., Knudsen, K.E.B., et al., 1997. Content of nutrients and lignans in roller-milled fractions of rye. *J Sci Food Agric*. 73, p. 143-148.

56. Nogueira, LDP, Knibel, MP, Torres, MRSG, Nogueira Neto, JF, & Sanjuliani, AF .2012. La consommation de chocolat noir riche en polyphénols améliore la fonction endothéliale chez les personnes atteintes d'hypertension de stade 1 et d'excès de poids corporel. *Revue internationale de l'hypertension*, 2012 (1), 147321.

O

57. OhaI, K., Bae, I.Y., Lee, H.G., 2014. In vitro starch digestion and cake quality: Impact of the ratio of soluble and insoluble dietary fiber. *International Journal of Biological Macromolecules*. 63, p. 98-103.

P

58. Parker, G., Parker,I., Brotchie, H.,2006. Moodstate effects of chocolate. *Journal of Affective Disorders*. 92(2-3): 149-159.

59. Planells,E., Rivero, M., Mataix, J., Llopis, J., 1999. Ability of a cocoa product to correct chronic Mg deficiency in rats.*International Journal of Vitamin and Nutrition Research*. 69(1): 52-60.

60. Prado, F. C., Parada, J. L., Pandey, A., Soccol, C. R., 2008. Trends in non-dairy probiotic beverages. *Food Research International*, 41(2), 111-123.

61. 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.

Q

62. Queenan, K. M., Stewart, M. L., Smith, K. N., Thomas, W., Fulcher, R. G., et Slavin, J. L., 2007. Concentrated oat β -glucan, a fermentable fiber, lowers serum cholesterol in hypercholesterolemic adults in a randomized controlled trial. *Nutrition Journal*, 6, 1-8.

R

63. Ramljak, D., Romanczyk, L.J., Metheny-Barlow, L.J., 2005. Pentameric procyanidin from *Theobroma cacao* selectively inhibits growth of human breast cancer cells. *Molecular Cancer Therapeutics*.4 (4): 537-546

64. Rein, D., Paglieroni, T.G., Rein, D., 2000. Cocoa inhibits platelet activation and function. *American Journal of Clinical Nutrition*. 72(1): 30-35

S

65. Salas-Salvado, J., Bullo, M., Perez-Heras A., Ros, E., 2006. *J. Nutr.* 96, p. 45–51.

66. Salgado, P., Binh, L. H., Chí, V., Van, T., Nguyen, T. et Hoa, L., 2008 . Rapport scientifique : Production et utilisation de l'avoine fourragère (*Avena strigosa* et *Avena sativa*) au nord du Vietnam, une solution pour résoudre le déficit fourrager en hiver. Centre de Coopération Internationale en Recherche Agronomique pour le Développement. Ed: CIRAD. France. 95p

67. Salmerón, I., 2017. Fermented Cereal Beverages: From Probiotic, Prebiotic and Synbiotic towards Nanoscience Designed Healthy Drinks. *Letters in Applied Microbiology* 65(2): 114-24.

68. Santos, R.D., Shetty, K., Lourenco, A., Miglioranza, L., 2012. Phenolic compound and total antioxidant activity determination in rosemary and oregano extract. DOI: 10.5433/1679 0359.2012v33, N2, p655.

69. Saris, W.H., 2003. Glycemic carbohydrate and body weight regulation. *Nutr Rev*, 61: S10–6.

70. Schorey, J.S., Lawrence, C., 2008. The pattern recognition receptor Dectin-1: from fungus to mycobacteria. *Curr Drug Targets*. 9(2), p. 123-129

71. Serafini, M., Stanzione, A., Foddai, S., 2012. Functional Foods: Traditional Use and European Legislation. *International Journal of Food Sciences and Nutrition* 63 (sup1): 7-9.

72. Small, D.M., Zatorre, R.J., Dagher, A., Evans, A.C., M. Jones-Gotman, M., 2001. Changes in brain activity related to eating chocolate: from pleasure to aversion. *Brain*. 124(9): 1720-1733.

T

- 73. Taubert, D., Roesen, R., Schomog, E., 2007.** Effect of cocoa and tea intake on blood pressure: a meta-analysis. *Archives of Internal Medicine*. 167(7): 626-634.
- 74. Tokunaka, K., Ohno, N., Adachi, Y., Miura, N.N., Yadoyama, T., 2002.** Application of *Candida* solubilized cell wall beta-glucan in antitumor immunotherapy against P815 mastocytoma in mice. *Int Immunopharmacol*. 2, p. 59-67.
- 76. Tosh, S. M., Brummer, Y., Wood, P. J., Wang, Q., Weisz, J., 2004.** Evaluation of structure in the formation of gels by structurally diverse (1→3)(1→4)-β-D-glucans from four cereal and one lichen species. *Carbohydrate Polymers*, 57(3), 249-259.
- 77. Torres, R., 2006.** Antioxidant activity of coumarins and flavonols from the resinous exudates of *Haplopappus multifolius*; *Phytochemistry*. 67: 984-987.
- 78. Touaibia, M.b et Chaouch, F. Z., 2014.** Evaluation de l'activité anti oxydante des extraits aqueux, méthanolique et éthanolique de l'espèce saharo endémique *Myrtus nivellei* Batt et Trab. (Myrtaceae) [Evaluation of the antioxidant activity of aqueous, methanolic and ethanolic extracts of the Sahara—endemic species *Myrtus nivellei* Batt and Trab. (Myrtaceae)]. *International Journal of Innovation and Applied Studies*, 6 (3), 407

V

- 79. Vita, J.A., 2005.** Polyphenols and cardiovascular disease: effects on endothelial and platelet function. *American Journal of Clinical Nutrition*. 81: 292S-297S.

W

- 80. Waterhouse, A.L., Shirley, J.R., Donovan, J.L., 1996.** Antioxidants in chocolate. *Lancet*. 348 (9030): 834.

Z

- 81. Zhang YJ, Ren-You G, Li S, Zhou Y, An-Na L Dong-Ping X, Hua-Bin L. ,2015.** Antioxidant Phytochemicals for the Prevention and Treatment of Chronic Diseases. *Molecules*. 20:21138–21156.
- 82. 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.