



الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

République Algérienne Démocratique et Populaire

N série:.....

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

جامعة الشهيد حمزة لخضر الوادي

Université Echahid Hamma Lakhdar - El OUED

كلية علوم الطبيعة والحياة

Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie

قسم البيولوجيا الخلوية والجزيئية

Département de biologie Cellulaire et Moléculaire

MEMOIRE DE FIN D'ETUDE

En vue de l'obtention du diplôme de Master Académique en Sciences

Biologiques

Spécialité : Biochimie Appliquée

THEME

**Étude des effets antioxydants des polysaccharides
hydrosolubles de *Plantago albicans* L. (Plantaginaceae)**

Présentés Par:

M^{elle} CHEBROU Chahinez

M^{elle} DEGACHI Rayane

M^{elle} DEGACHI Sabrina

M^{elle} REZZAG BAARA Sabrina Sofia

Devant le jury composé de:

Président : Mr. SAADI Hamza M.A.A Université d'El Oued

Examineur : Mr. GHANIA Ahmed M.A.A Université d'El Oued

Promotrice : M^{me} MEHELLOU Zineb M.A.A Université d'El Oued

Année universitaire: 2022/2023



Remerciements

Merci à ALLAH le Tout-Puissant qui nous a donné la volonté, la patience et le courage de mener à bien cet humble travail et durant ces longues années d'études. Merci beaucoup à ALLAH "الله" le Tout-Puissant pour les nombreuses bénédictions et inspirations que nous sommes reçues gratuitement.

Nous tenons à remercier chaleureusement notre promotrice, Mme "MEHELOU Zineb" pour son aide, ses conseils et sa gentillesse. Nous vous remercions d'avoir accepté de superviser ce mémoire, de votre présence et de vos encouragements dans la réalisation de ce travail. Nous vous souhaitons beaucoup de succès.

Nous remercions vivement les membres du comité de discussion d'avoir accepté de juger ce travail, à commencer par son président Mr SAADI Hamza, Maitre-assistant A et son examinateur Mr GHANIA Ahmed, Maitre-assistant A de la faculté des sciences de la nature et de la vie, de l'Université ECHAHID HAMMA LAKHDAR, El-Oued.

On adresse nos sincères remerciements à tout l'ensemble des membres du laboratoire de la faculté des sciences de la nature et de la vie, de l'Université ECHAHID HAMMA LAKHDAR, El-Oued, en particulièrement Mme REZZAG MOHCEN Bouchra.

Nous adressons également nos sincères remerciements à ceux qui ont eu un grand crédit pour la doctorante "DEGACHI Nour El Houda" qui n'a pas lésiné sur son temps, et pour l'aide qu'elle nous a apportée dans une période limitée. Nous demandons à ALLAH le Tout-Puissant de vous aider et de vous accorder le succès dans votre vie.

Enfin, un mot de remerciement aux amis et à tous ceux qui nous ont tendu la main de près ou de loin, même avec un mot gentil ou une supplication au cours de notre cursus.

Dédicaces

*Car le soulagement a commencé... et le chemin n'est pas terminé...
et mon succès n'est qu'avec ALLAH*

*En premier lieu je remercie ALLAH le Tout Puissant de m'avoir donné la
volonté, la santé, le courage et la patience pour réaliser ce travail.*

*Ici, nous récoltons aujourd'hui les fruits de la marche des années au cours de
laquelle notre objectif était clair, et nous nous efforçons chaque jour de l'atteindre,
aussi difficile soit-il. Nous voici arrivés avec une torche à la main, et nous en
prendrons grand soin pour qu'il ne s'éteigne pas.*

*A cette occasion, je dédie ma graduation, ma réussite et tout ce qui est beau dans ma
vie:*

*À qui les mots manquent pour remplir son droit, qui a mobilisé tous ses pouvoirs
pour m'aider à atteindre ce que je suis, mon cher père *Hamza*.*

*À celle qui a le cœur patient, celle dont les prières ont illuminé ma vie pour moi,
celle qui donne gratuitement, ma chère mère *Souhila*, que ALLAH prolonge sa vie et
améliore son travail.*

*Aux bougies de ma vie, mes chers frères et sœurs" *Ibtessam, Chouaib, Abou
Elkheir, Ouidad, Nour El Houda, Aya Barâa*.*

*Aux bourgeons familiaux " *Mohammed Taib, Yasser, Youssef, Jouri, Elaf,
Loudjain*" sont la source de joie et de bonheur.*

À ma famille et mes proches, chacun en son nom et sa description.

*À ceux qui m'ont pris la main dans ce domaine et ont fait de la science les plus
beaux signes d'accomplissement sont *mes meilleurs professeurs*.*

*À ceux avec qui le lien de la connaissance m'a rapproché et avec qui j'ai goûté
les plus beaux moments, notamment parmi eux mon partenaire dans ce travail et mon
compagnon sur mon chemin et Celui avec qui j'ai passé mon enfance " *Sabrine*", que
ALLAH vous protège où que vous soyez, mes chères sœurs.*

À ceux que la plume a oubliés, et que le cœur ne les oubliera pas.

*Mes sincères salutations à tous. Je vous souhaite de la bonne santé et plein de
succès.*

Rayane

Dédicaces

En premier lieu je remercie **ALLAH** le Tout Puissant de m'avoir donné la volonté, la santé, le courage et la patience pour réaliser ce travail.

Je dédie ce modeste travail À:

Mon cher père **Abdul Salam**

Mon héros, mon soutien, ma fierté, ma consolation, ma sécurité, ma force, mon bon exemple dans la vie, qui m'a toujours encouragé et soutenu, et l'épaule fixe qui ne s'incline jamais Que ALLAH vous protège, mon père.

À ma chère mère **Hadia**

Pour mon âme, ma vie, mon paradis, la sécurité de mon cœur, mon bonheur, ma demeure, mes espoirs et mon développement, j'en suis content, et sans cela je finis. Qu'Allah vous protège, ma mère.

Ceux que j'aime beaucoup et qui m'ont toujours encouragé et soutenu;

Mes chers frères : **Mohemed Amine, Ahmed**

Mes chères sœurs : **Aicha, Chiraze**

Mes grands-mères : **Salma et Hannya** je leur souhaite longue vie et de bonne santé

A tous mes oncles et mes tantes

A mes copines et amoureux : **Rayane ; Safa ; Ichrak**

A ma promotrice Dr. : **MEHELLOU Zineb**

A tous mes collègues de l'Université Echahid Hamma Lakhdar EL-OUED en particulier les étudiants de ma promotion de biochimie appliquée de l'année 2023.

Sabrina

Dédicaces

À l'aide d'*ALLAH*, le Tout Puissant, j'ai pu arriver
Je dédie ce modeste travail à:

Mon cher grand-père *Allal Ali* Qui est toujours présent dans mon cœur

Mes très chers parents qui ont toujours été là pour moi, qui m'ont tant soutenu
tout au long de mes études et de ma vie.

Mon chère Mère *Radia*

Mon cher père *Abdel Fatah*

À mes frères : *Oussama, Aymen, Mohamed Ali*

À ma chère tante *Allal Khadidja* et sa famille malgré la distance, vous êtes
toujours dans mon cœur

À ma chère grand-mère *Guerid Nadja*

À mon amie *Alia*

À tout le reste de ma famille, mes proches et mes chers professeurs
À mes collègues d'études, et toute la promotion de biochimie 2022/2023

J'ai passé des moments inoubliables avec vous

Tous mes meilleurs vœux de succès et de paiement à nous tous

À tous ceux que j'aurais oublié de citer.

Mais qui existent au fond de mon cœur et de ma pensée.

Chahinez

Dédicaces

À l'aide d'ALLAH, le tout puissant, j'ai pu réaliser ce travail que je dédie :

À *mes chers parents* qui ont sacrifié leur vie pour notre réussite.
J'espère qu'un jour je pourrai leurs rendre un peu de ce qu'ils
Ont fait pour moi, que ALLAH leur prête bonheur et longue vie

À mes belles sœurs : *Saba, Sidra*

Et mes frères : *Ibrahim, Taki*

À ma chère grand-mère

Aux membres de ma famille, proches ou éloignés

À toute mes amies qui tenaient à côté de moi et m'ont soutenu, m'a encouragé
tout au long de l'année j'ai passé des moments inoubliables avec vous.

Tous mes meilleurs vœux de succès et de paiement à nous tous.

Sabrina Sofia

RÉSUMÉS

Résumé

L'objectif du présent travail est d'extraire et d'évaluer le potentiel antioxydant des polysaccharides hydrosolubles à partir des feuilles de *Plantago albicans* L. (Plantaginaceae), une plante spontanée à caractère médicinal récoltée au Sahara septentrional Est Algérien de la région d'El Oued. Les principales caractéristiques structurales de l'extrait PA sont déterminées par des dosages colorimétriques et par une spectroscopie infrarouge à transformée de Fourier. Les activités antioxydantes sont évaluées par trois méthodes *in vitro*. Ainsi, un extrait brut des polysaccharides, nommé PA, est obtenu par extraction à l'eau chaude suivie d'une précipitation par l'éthanol froid (96%) à un rendement massique de 4.318%. La composition chimique note des taux de 99.46% d'oses totaux, de 32.40% d'oses neutres, et des faibles teneurs en protéines (10%) et de composés phénoliques (3.16%). L'analyse par spectroscopie IR permet de déterminer la présence des fonctions chimiques caractéristiques des polysaccharides comme des groupes hydroxyles (OH), des groupes carboxyle (COO⁻) et des liaisons (CH). Pour les activités biologiques de l'extrait polysaccharidique PA, il est signé une IC₅₀ de 242.63 µg/ml par le test de piégeage de radical libre DPPH. Selon le test de la réduction ferrique (FRAP), la fraction PA présente une EC₅₀ de 4237 µg/ml. De plus, la fraction PA est capable de protéger 50 % des érythrocytes à une concentration de 236,51 µg/ml.

Mots clés : Polysaccharides hydrosolubles, *Plantago albicans* L., Activité antioxydante, Région d'El Oued.

Abstract

The objective of this work is to extract and evaluate the antioxidant potential of water-soluble polysaccharides from the leaves of *Plantago albicans* L. (Plantaginaceae), a spontaneous plant with a medicinal character harvested in the northern eastern Algerian Sahara of the region of El Oued. The main structural characteristics of the PA extract are determined by colorimetric assays and by Fourier transform infrared spectroscopy. The antioxidant activities are evaluated by three in vitro methods. Thus, a crude extract of the polysaccharides, called PA, is obtained by extraction with hot water followed by precipitation with cold ethanol (96%) at a mass yield of 4.318%. The chemical composition notes levels of 99.46% of total oses, 32.40% of neutral oses, and low levels of proteins (10%) and phenolic compounds (3.16%). Analysis by IR spectroscopy makes it possible to determine the presence of chemical functions characteristic of polysaccharides such as hydroxyl groups (OH), carboxyl groups (COO-) and (CH) bonds. For the biological activities of the polysaccharide extract PA, an IC₅₀ of 242.63 µg/ml is signed by the DPPH free radical scavenging test. According to the iron reduction test (FRAP), the PA fraction has an EC₅₀ of 4237 µg/ml. In addition, the PA fraction is capable of protecting 50% of erythrocytes at a concentration of 236.51 µg/ml.

Keywords: Water-soluble polysaccharides, *Plantago albicans* L., antioxidant activity, El Oued region.

ملخص

الهدف من هذا العمل هو استخراج وتقييم إمكانات مضادات الأكسدة لعديد السكاريد القابل للذوبان في الماء من أوراق (*Plantago albicans* L. (Plantaginaceae))، وهو نبتة عفوية ذات طابع طبي يتم حصادها في شمال شرق الصحراء الجزائرية بمنطقة الوادي . تم تحديد الخصائص الهيكلية الرئيسية لمستخلص PA عن طريق المقاييس اللونية والتحليل الطيفي بالأشعة تحت الحمراء بتحويل فوربييه . كما تم تقييم الأنشطة المضادة للأكسدة من خلال ثلاث طرق في المختبر . وهكذا ، تم الحصول على مستخلص خام من السكريات ، يسمى PA ، عن طريق الاستخلاص بالماء الساخن يليه الترسيب بالإيثانول البارد (96%) بعائد كتلي 4.318% . يشير التركيب الكيميائي إلى مستويات 99.46% من السكريات الإجمالية ، و 32.40% من السكريات المتعادلة ، ومستويات منخفضة من البروتينات (10%) والمركبات الفينولية (3.16%) . يتيح التحليل بواسطة التحليل الطيفي للأشعة تحت الحمراء تحديد وجود الوظائف الكيميائية المميزة لعديد السكاريد مثل مجموعات الهيدروكسيل (OH) ، مجموعات الكربوكسيل (COO-) وروابط (CH) . فيما يخص الأنشطة البيولوجية لمستخلص السكاريد PA ، تمت ملاحظة IC50 بقيمة 242.63 ميكروغرام / مل عن طريق اختبار ارجاع الجذور الحرة DPPH . وفقاً لاختبار (FRAP)، يشير جزء PA على EC50 بقيمة 4237 ميكروغرام / مل. بالإضافة إلى ذلك ، فإن جزء PA قادر على حماية 50% من كريات الدم الحمراء بتركيز 236.51 ميكروغرام / مل.

الكلمات المفتاحية: عديد السكاريد القابل للذوبان في الماء *Plantago albicans* L.، نشاط مضاد للأكسدة ، منطقة الوادي.

Liste des figures

N°	Titre	Page
01	Structure du dextranes synthétisés par les glycosyltransférases <i>streptococciques</i> (PLESZCZYNSKA <i>et al.</i> , 2015)	07
02	Unité répétitive de la gomme xanthane (SHEKARFOROUS <i>et al.</i> , 2017)	08
03	Unités principales de λ , ι et κ carraghénanes (PRAJAPATI <i>et al.</i> , 2014)	09
04	Structure des principales unités disaccharidiques répétitives d'ulvane : A : [\rightarrow 4 - β -D-Glcp- (1 \rightarrow 4) - α -LRhap3S- (1 \rightarrow .)] n; B : [(\rightarrow 4) - α -L-IdoP - (1 \rightarrow 4) - α -LRhap3S- (1 \rightarrow)] n (JIAO <i>et al.</i> , 2011)	09
05	Données structurales pour les alginate : (a) les monomères dans alginate ; (b) la chaîne alginate (SRIAMORNSAK <i>et al.</i> , 2007)	10
06	Unité répétitive du glycogène (PAL <i>et al.</i> , 2015)	11
07	Fragment d'une molécule d'héparine (MALLEDAN, 2017)	11
08	Structure moléculaire du kératane sulfate (FRANCIS SUH et MATTHEW, 2000)	12
09	Structures d'amylose (a) et l'amylopectine (b) (MONTESANTI, 2008)	13
10	Unités principales des galactomannanes (GEETA <i>et al.</i> , 2018)	14
11	Unité répétitive de la cellulose (ZUGENMAIER, 2008; UMMARTYOTIN et MANUSPIYA, 2015)	14
12	Organisation générale des structures pectiques (LECLERE <i>et al.</i> , 2013)	15
13	Structure de la gomme arabique (DAUQAN et ABDULLAH, 2013)	17
14	Différentes étapes d'extraction des polysaccharides hydrosolubles de <i>Plantago albicans</i> L.	29
15	Réduction du radical DPPH en DPPHH (TALBI <i>et al.</i> , 2015; SIRIVIBULKOVIT <i>et al.</i> , 2018)	34
16	Composition biochimique de l'extrait brut de polysaccharide PA	40
17	Spectre infrarouge de polysaccharide issu des feuilles de <i>Plantago albicans</i> L.	42
18	Pourcentage d'inhibition pour l'extrait polysaccharidique <i>Plantago albicans</i> L. et de vitamine C	44
19	Les valeurs d'IC50 pour les composés <i>Plantago albicans</i> L. et vitamine C d'inhibition des radicaux DPPH	44
20	Courbe d'étalonnage de l'activité antioxydante FRAP de <i>Plantago albicans</i> L.	46
21	Courbe d'étalonnage de l'activité antioxydante FRAP de vitamine C	46
22	Les valeurs d'EC50 pour les composés <i>Plantago albicans</i> L. et vitamine C de la puissance de réduction FRAP	47
23	Pourcentage d'hémolyse pour l'extrait polysaccharidique <i>Plantago albicans</i> L.	48
24	Valeurs EC50 anti hémolytiques de 50 % érythrocytes d'un extrait de polysaccharide PA et vitamine C	49

Liste des tableaux

N°	Titre	Page
01	Caractéristiques de l'extrait polysaccharidique des feuilles de <i>Plantago albicans</i> L.	39

Liste des photos

N°	Titre	Page
01	<i>Plantago albicans</i> L. à Hassi Khelifa, Wilaya d'El Oued (Algérie)	26
02	Extrait brut des polysaccharides hydrosolubles des feuilles de <i>Plantago albicans</i> L.	39

Liste des annexes

N°	Titre
01	Description botanique de <i>P. albicans</i> L.
02	Matériel d'expérimentation
03	Préparation des solutions
04	Etapes d'extraction des polysaccharides
05	Préparation des étalons
06	Courbes d'étalonnage
07	Activités in vitro

Liste des abréviations

Abc	Absorbance
%	Pourcentage
v	Vibration d'élongation
C°	Degré Celsius
DPPH	1,1' Diphenyl-2-Picryl Hydrazyl
ERO	Espèces réactives d'oxygène
FeCl ₃	Chlorure ferrique
FRAP	Puissance de l'activité de la réduction ferrique
IC50	Concentration Inhibitrice de 50 %
mg/l	Milligramme/litre
ml	Millilitre
Mm	Millimètre
NaCO ₃	Carbonate de sodium
OMS	Organisation Mondiale de la santé
PA	Polysaccharides des feuilles de <i>Plantago albicans</i>
TCA	Acide trichloroacétique
TNF- α	Facteur-A De Nécrose Tumorale
tr/min	Tour/Minute
Glc	Glucose
Vit C	Vitamine C
μ g	Microgramme
μ l	Microlitre
IR	Infra rouge

Sommaire

Remerciements	
Dédicaces	
Résumés	
Liste des figures	
Liste des tableaux	
Liste des photos	
Liste des annexes	
Liste d'abréviations	
Introduction	

Chapitre I.- Synthèse bibliographique

I.1.-Généralités sur les polysaccharides	05
I.2.-Classification des polysaccharides	06
I.2.1.-Selon la structure	06
I.2.1.1.-Homopolysaccharides	06
I.2.1.2.-Hétéropolysaccharides	06
I.2.2.-Selon l'origine	07
I.2.2.1.-Polysaccharides bactérienne et fongiques	07
I.2.2.1.1.-Dextranes	07
I.2.2.1.2.-Xathane	07
I.2.2.2.-Polysaccharides extraits d'algues	08
I.2.2.2.1.-Carraghénanes	08
I.2.2.2.2.-Ulvane	09
I.2.2.2.3.-Alginates	09
I.2.2.3.-Polysaccharides animaux	10
I.2.2.3.1.-Glycogène	10
I.2.2.3.2.-Héparine	11
I.2.2.3.3.-Kératane	11
I.2.2.3.-Polysaccharides végétaux	12
I.2.2.3.1.-Polysaccharides de réserve	12
I.2.2.3.1.1.-Amidon	12
I.2.2.3.1.2.-Galactomannanes	13
I.2.2.3.2.-Polysaccharides de structure	14
I.2.2.3.2.1.-Cellulose	14

I.2.2.3.2.2.-Pectines	15
I.2.2.3.1.-Exsudats et mucilages	16
I.2.2.3.1.1.-Exsudats	16
I.2.2.3.1.2.-Mucilages	17
I.3.-Activités biologiques des polysaccharides	18
I.3.1.-Activité antioxydante	18
I.3.2.-Activité anti-inflammatoire	19
I.3.3.-Activité antidiabétique	20
I.3.4.-Activité immunomodulatrice	20
I.2.- Généralités sur l'espèce étudiée	22

Chapitre II.- Matériel et méthodes

II.1.-Principe d'étude	25
II.2.- Matériel d'étude	25
II.2.1.-Matériel biologique	25
II.2.1.1.- Choix d'espèce végétale	25
II.2.1.2.- <i>Plantago albicans</i> L.	26
II.2.1.2.1.- Description botanique	26
II.2.1.2.2.- Position systématique	27
II.2.1.2.3.- Récolte et partie étudiée	27
II.3.- Méthodes d'étude	27
II.3.1.-Technique de séchage et de broyage	27
II.3.2.-Extraction hydrosolubles des polysaccharides	27
II.3.3.- Composition des extraits bruts de polysaccharides	30
II.3.3.1.- Dosage des oses	30
II.3.3.1.1.- Dosage des oses totaux	30
II.3.3.1.1.1.- Principe	30
II.3.3.1.1.2.- Mode opératoire	30
II.3.3.1.2.- Dosage des oses neutres	31
II.3.3.1.2.1.- Principe	31
II.3.3.1.2.2.- Mode opératoire	31
II.3.3.1.3-Dosage des protéines	31
II.3.3.1.3.1.- Principe	31
II.3.3.1.3.2.- Mode opératoire	31
II.3.3.1.4- Dosage de polyphénols	32
II.3.3.1.4.1- Principe	32

II.3.3.1.4.2.- Mode opératoire	32
II.3.4.- Spectroscopie infrarouge à transformée de Fourier (FTIR)	32
II.3.4.1.- Principe	33
II.3.4.2.- Mode opératoire	33
II.3.5.- Activités biologiques des polysaccharides	33
II.3.5.1.- Activité antioxydante	33
II.3.5.1.1.- Réduction du radical 1,1'-diphényl-2-picrylhydrazyle (DPPH)	33
II.3.5.1.1.1.- Principe	33
II.3.5.1.1.2.- Mode opératoire	34
II.3.5.1.2.- Puissance de l'activité de la réduction ferrique (FRAP)	34
II.3.5.1.2.1.- Principe	35
II.3.5.1.2.2.- Mode opératoire	35
II.3.5.1.3.- Test anti hémolyse	35
II.3.5.1.3.1.- Principe	35
II.3.5.1.3.2.- Mode opératoire	36
II.4 Analyses statistique	36

Chapitre III.- Résultats et discussion

III.1.- Rendement d'extraction	38
III.2.- Composition biochimique	39
III.3.- Analyse par infrarouge à transformée de Fourier (FTIR)	41
III.4.- Activités biologiques de l'extrait polysaccharidique	42
III.4.1.- Réduction du radical 1,1'-diphényl-2-picrylhydrazyle (DPPH)	43
III.4.2.- Puissance de l'activité de la réduction ferrique (FRAP)	45
III.4.3.- Activité anti-hémolytique	48
Conclusion et perspectives	50
Références	53
Annexes	

INTRODUCTION

Depuis l'antiquité, l'homme a utilisé les plantes à des fins thérapeutiques. Il y a deux cent ans que les moyens thérapeutiques naturels étaient les seuls remèdes dont disposait l'humanité (GRUNWALD et JÄNICKE, 2006). Les plantes servaient pour calmer les maux et guérir les plaies (FESTY, 2014). Il y a environ 500000 plantes sur terre dont d'environ 10000 d'entre elles, possèdent des propriétés médicinales. Ces dernières sont des usines chimiques naturelles, produisant des substances biochimiques actives comme alcaloïdes, huiles essentielles, flavones et tanins, et les mettent à la disposition de l'homme qui peut en faire usage pour sa santé et satisfaire ses besoins vitaux (NASSERA *et al.*, 2022).

L'Algérie possède une flore végétale riche et diversifiée. Parmi les plantes médicinales qui constituent le couvert végétal (GUEMOU *et al.*, 2023), se trouve les espèces du genre *Plantago* de la famille *Plantaginaceae*, qui sont largement distribuées surtout dans les régions ouvertes et arides. Plusieurs espèces de cette famille possèdent des propriétés thérapeutiques et sont utilisées en médecine traditionnelle (ADDOUN, 2021). Le genre *Plantago* comprend plus de 200 espèces des plantes herbacées largement distribué dans les régions tempérées. Ces plantes possèdent de nombreuses propriétés médicinales car elles contiennent de nombreux composés bioactifs comme composés phénoliques et polysaccharidiques (GAZER et SHALABI, 2016; MOHSENZADEH *et al.*, 2023). De plus, plusieurs espèces du genre *Plantago* sont utilisées comme médicament traditionnel, à partir des feuilles et des graines, pour la cicatrisation des plaies, les inflammations, les troubles respiratoires et les affections du système digestif (GONÇALVES et ROMANO, 2016; ADOM *et al.*, 2017; KWON *et al.*, 2019).

En outre, les polysaccharides représentent une classe de biomolécules dont certains possèdent des propriétés biologiques et rhéologiques susceptibles d'être valorisées à l'échelle industrielle (BRUDIEUX, 2007; ZHAO *et al.*, 2023a). Ces biopolymères ont suscité un vif intérêt chez les scientifiques depuis une trentaine d'années. Ils proviennent de sources renouvelables à savoir les végétaux (cellulose, amidon...), les algues (alginates...), les animaux (chitine...), et les bactéries (xanthane, gellane, hyaluronane...) (SINHA et KUMRIA, 2001; CRINI *et al.*, 2009; VATANPOUR *et al.*, 2022). Ils présentent également une grande diversité de structures, de compositions chimiques, de poids moléculaires, qui concourent à leur fonctionnement et leur potentiel biologique (LEE *et al.*, 2009). Ils représentent les candidats les plus attractifs pour les applications biomédicales, alimentaires et pharmaceutiques à cause de leurs propriétés physicochimiques exceptionnelles, de leur biocompatibilité, de leur biodégradabilité et de leur non-toxicité (COVIS, 2011; CHOUANA, 2017; SONG *et al.*, 2019; MIRZADEH *et al.*, 2019; SALAMA *et al.*, 2020). Ainsi, les polysaccharides végétaux sont devenus une classe importante de produits naturels bioactifs et largement utilisés dans les

produits pharmaceutiques et les biomatériaux (LUKOVA *et al.*, 2020). Ils possèdent diverses activités biologiques, telles que des effets hypoglycémiants, immunostimulants, antioxydants, anti-inflammatoires et antiviraux (JI *et al.*, 2023; ZHOU et HUANG, 2023).

L'objectif du présent travail est concentré sur l'étude des polysaccharides hydrosolubles issus des feuilles de *Plantago albicans* L. de la famille Plantaginaceae. En effet, il est visé une caractérisation partielle et une évaluation des activités biologiques des polysaccharides obtenus. Le travail est structuré en trois chapitres, dont le premier chapitre porte sur un aperçu général sur les polysaccharides et des études antérieures sur leurs activités biologiques, en plus des généralités sur le genre *Plantago*. Le second chapitre porte essentiellement sur l'ensemble du matériel et des méthodes d'étude dont les techniques expérimentales d'extraction des polysaccharides hydrosolubles, la détermination de leurs compositions biochimiques, et les tests d'activité antioxydante. Le troisième chapitre présente les principaux résultats obtenus et une discussion. Enfin, une conclusion générale avec par des perspectives soutenues achèvent ce travail.

CHAPITRE I

Synthèse bibliographique

Le présent chapitre porte sur quelques généralités sur les polysaccharides et leurs activités biologiques, en plus des généralités sur le genre *Plantago*.

I.1.-Généralités sur les polysaccharides

Les polymères naturels peuvent être classés structurellement en quatre catégories, dont les polysaccharides comme cellulose, alginate, dextrans, chitosane et pullulane, les protéines (gélatine, albumine, lectine et légumineuse) (FERNANDES *et al.*, 2022), les polynucléotides (acide désoxyribonucléique ADN, acide ribonucléique ARN) et les polyesters (polyhydroxyalcanoates, acide polylactique et acide polymalique) (HEMAMALINI et GIRIDEV, 2018). Les polysaccharides sont les polymères naturels les plus répandus, se trouvant dans tous les organismes vivants, soit humains, animaux, micro-organismes et plantes (IANCHIS *et al.*, 2023). Les polyholosides ou polyosides ou glyanes nommés polysaccharides dont le degré de polymérisation est supérieur à 10 (DELATTRE, 2005).

Les polysaccharides peuvent être classés sur la base de leur structure, leur composition chimique, leur solubilité, leurs sources et leurs applications. Pour la composition chimique, les polysaccharides sont classés en deux types. Les homopolysaccharides ou homoglycans sont constitués d'un seul type de monosaccharide, comme la cellulose et le glycogène constitués de glucose. Les hétéropolysaccharides ou hétéroglycans, sont constitués de plus d'un type de monosaccharides, tel que l'héparine constitué d'acide α -L-idopyranosyluronique 2- sulfate et 2-désoxy-2-sulfoamino- α -D-glucoopyranose 6-sulfate. Selon la nature des molécules liées au glycan, les polysaccharides peuvent également être classés comme des protéoglycans, des glycoprotéines et des glycolipides. En se basant sur les origines, les polysaccharides bioactifs peuvent être d'origine végétale ou de lichens. Certains polysaccharides bioactifs sont issus d'animaux (LIU *et al.*, 2015). Pareillement, les polysaccharides naturels peuvent être simplement classés en quatre catégories qui sont obtenus à partir de différentes origines comme d'origine animale (chitosane), d'origine végétale (pectine), d'origine algale (alginate) et d'origine microbienne (dextrane) (DEY *et al.*, 2019; VATANPOUR *et al.*, 2022).

Les polysaccharides natifs sont non toxiques, biocompatibles, biodégradables, hydrosolubles et, ont la capacité élevée de gonflement. Ils ont des propriétés qui les rendent extrêmement adaptées pour des applications biomédicales, technofonctionnelles dans les secteurs pharmaceutiques, cosmétiques, de l'industrie papetière, agroalimentaire, et dans l'extraction pétrolière (LIU *et al.*, 2015). Une large gamme de polysaccharides ont déjà trouvé des applications dans la santé humaine, à savoir le chitosane, la cellulose, les alginate, le dextrane,

l'amidon, l'acide hyaluronique, l'héparine, le κ -carraghénane, les pectines et la gomme de guar (PERSIN *et al.*, 2011; CHOUANA, 2017).

Les polysaccharides jouent des rôles dans les organismes vivants. Ils ont un rôle structural de la cellule végétale et sont utilisés comme réserve et stockage de nourriture sous forme d'amidon dans les plantes et de glycogène chez les mammifères (MAJI, 2019). Des études ont démontré que les polysaccharides ont différents types des activités, tels que l'activité antioxydante (XU *et al.*, 2018; KISHORE *et al.*, 2023), l'activité immunomodulatrice (PAN *et al.*, 2018; ALBUQUERQUE *et al.*, 2022), l'activité antidiabétique (TANG *et al.*, 2018; ALBUQUERQUE *et al.*, 2022), l'activité anti inflammatoire (LIU *et al.*, 2018).

I.2.-Classification des polysaccharides

Les polysaccharides peuvent être classés selon leur origine ou leur structure (PATTERSON., 2008).

I.2.1.-Selon la structure

Les polysaccharides peuvent être classés sur la base de leur composition en monomères. Il est habituel de distinguer les homopolysaccharides et les hétéropolysaccharides (FELICIA *et al.*, 2022; ALBUQUERQUE *et al.*, 2022), selon qu'ils présentent dans leurs structures, un ou plusieurs types d'unités monosaccharidiques (HAMES *et al.*, 2006; MOUSSARD, 2007).

I.2.1.1.-Homopolysaccharides

Ils sont constitués d'un seul type de monosaccharides (LI *et al.*, 2022). Ils portent souvent le nom de l'unité osidique qu'ils contiennent, par exemple les glucanes polymères de glucose, les mannanes polymères de mannose. Ces homopolysaccharides peuvent être soit linéaires exemple de cellulose et amylose, ou ramifiés comme l'amylopectine (MERGHEM, 2009; YANG, *et al.*, 2020).

I.2.1.2.-Hétéropolysaccharides

Ils sont généralement formés de quelques types de monosaccharides qui alternent selon une séquence répétitive. Ces hétéroglycanes renferment deux groupes différents, soit les polysaccharides neutres et les polysaccharides acides (VOET et VOET, 2005).

I.2.2.-Selon l'origine

I.2.2.1.-Polysaccharides bactérienne et fongiques

Les microorganismes produisent une grande variété des polysaccharides (SINGH *et al.*, 2015).

I.2.2.1.1.-Dextranes

Les dextranes sont des polymères de glucose de longues chaînes (ZOHRA *et al.*, 2013), qui sont généralement liés par des liaisons α (1 \rightarrow 6) (BASUNY et ABOEL-AININ et HASSAN, 2023). Toutefois, quelques ramifications interviennent, formées par des liaisons α (1 \rightarrow 2); α (1 \rightarrow 3) ou α (1 \rightarrow 4) (DHANES *et al.*, 2000). Leur intérêt réside dans leur utilisation thérapeutique comme agents de substitution du plasma sanguin (LOUISOT, 1989). Le dextrane élaboré par *Leuconostoc mesenteroides* (Leuconostocaceae) (KUMAR *et al.*, 2012) est constitué d'une chaîne α (1 \rightarrow 6) glucane avec des chaînes latérales α (1 \rightarrow 3) (fig. 1), attachées à la troisième position d'unités squelettiques de glucose (Maia *et al.*, 2014).

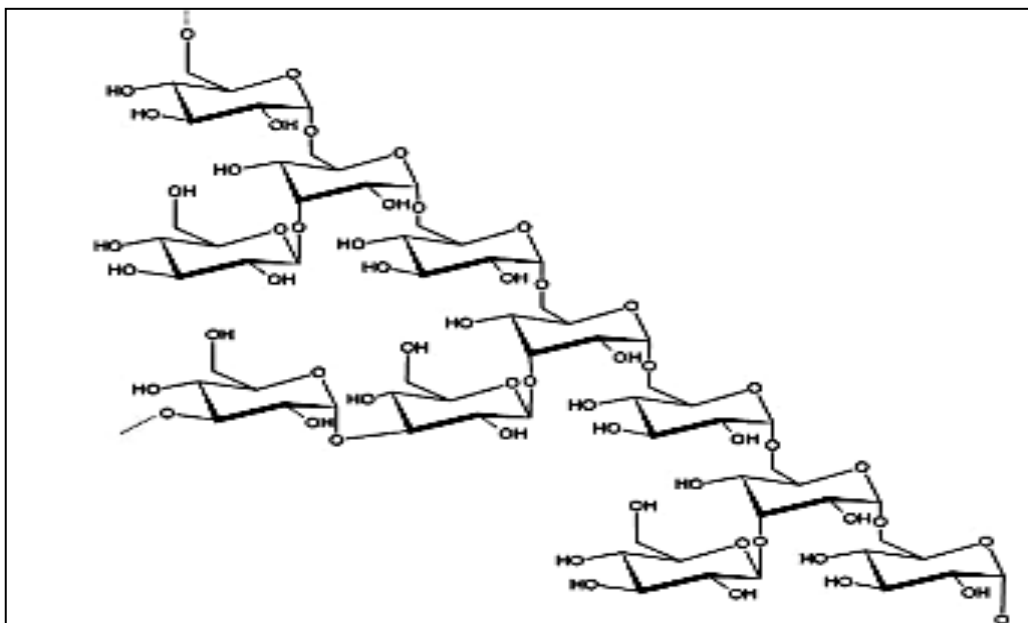


Figure 01.- Structure du dextranes de *Streptococcus* (PLESZCZYNSKA *et al.*, 2015)

I.2.2.1.2.-Xathane

La gomme xanthane est un polysaccharide anionique de masse moléculaire élevée produit par fermentation de glucides par les bactéries aérobies *Xanthomonas campestris* (Pseudomonaceae) qui se développe habituellement sur certaines espèces de Brassicaceae

(BASUNY et ABOEL-AININ et HASSAN, 2023), en élaborant un exsudat gommeux de type exo-polysaccharide (DE REYNAL, 2009; BRUNETON, 2009). Il contient en particulier du glucose, du mannose et de l'acides glucuronique (fig. 2). La gomme xanthane est ajoutée aux aliments comme stabilisant et épaississant (DELAUNAY, 1988).

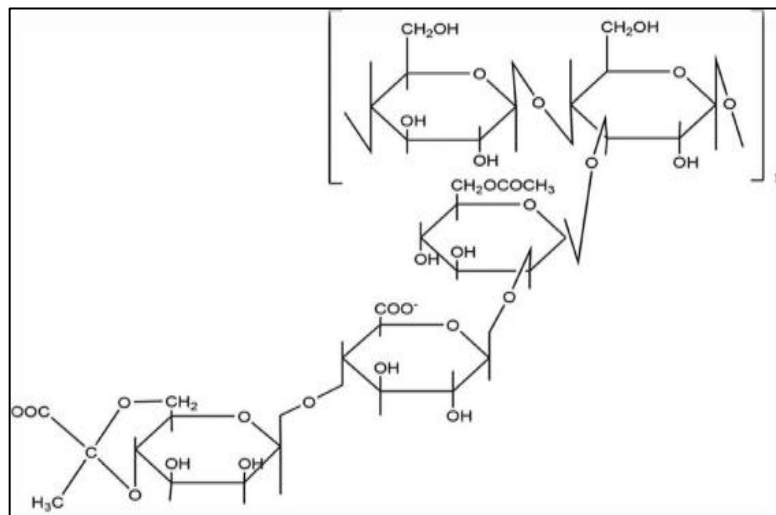


Figure 02.- Unité répétitive de la gomme xanthane (SHEKARFOROUS *et al.*, 2017)

I.2.2.2.-Polysaccharides extraits d'algues

Les polysaccharides algaux forment une vaste famille des polysaccharides.

I.2.2.2.1.-Carraghénanes

Ils sont des galactanes, polymères du D-galactose fortement sulfatés (CHEVENIER, JOUANNEAU, FICKO-BLEAN, 2023), qui sont des polyélectrolytes anioniques de masse moléculaire comprise entre 10^5 et 10^6 Da (VIEBKE *et al.*, 1995). Tous les carraghénanes ont une structure linéaire de type (AB)_n à liaisons alternées α (1→3) β (1→4) où A et B sont des résidus galactopyranosyle (fig. 3). Les carraghénanes entrent également dans la formulation des produits d'hygiène et de cosmétique, dans les produits laitiers et dans des produits aqueux (ex: nappages); comme stabilisants d'émulsions ou épaississants (BRUNETON, 1999). Les carraghénanes peuvent également agir comme biostimulants en agriculture (CHEVENIER, JOUANNEAU, FICKO-BLEAN, 2023). Les carraghénanes (carraghénates) sont obtenus à partir de diverses algues rouges (Rhodophyceae), famille de Gigartinales, Solieriaceae, Hypneaceae et Furcellariaceae (BARDOULAT, 2007; BRUNETON, 2009; JOUANNEAU, 2010).

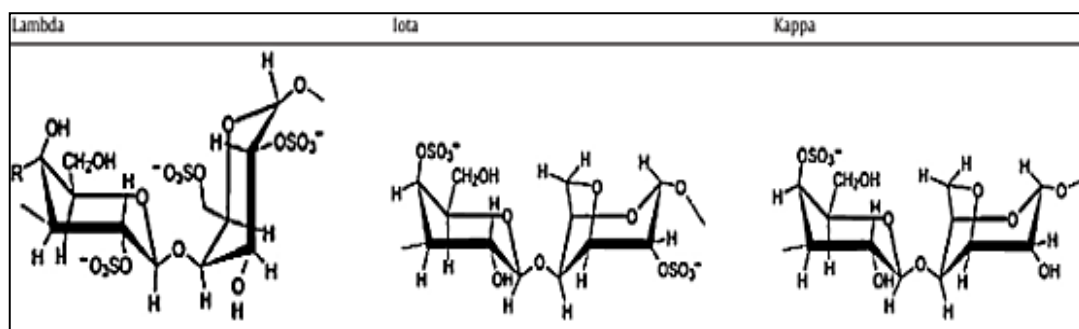


Figure 03.- Unités principales de λ , ι et κ carraghénanes (PRAJAPATI *et al.*, 2014)

I.2.2.2.2.-Ulvane

L'ulvane est le principal polysaccharide hydrosoluble dans l'eau trouvé dans les algues vertes (SHAH *et al.*, 2023) de l'ordre des Ulvales (*Ulva* et *Enteromorpha sp.*) qui a le sulfate, le rhamnose, la xylose, les acides iduroniques et glucuroniques comme constituants principaux (PERCIVAL ET DOWELL, 1967; LAHAYE et RAY, 1996). La structure d'ulvane montre une grande complexité et variabilité, comme en témoignent les nombreuses unités structurales répétitives d'oligosaccharides identifiées dans les préparations d'ulvane natives et chimiquement modifiées. Les principales unités disaccharidiques répétitives signalées sont les types d'acide 3-sulfate ulvanobiouronique contenant de l'acide glucuronique ou iduronique (fig. 4) (JIAO *et al.*, 2011 ; KIDGELL *et al.*, 2019).

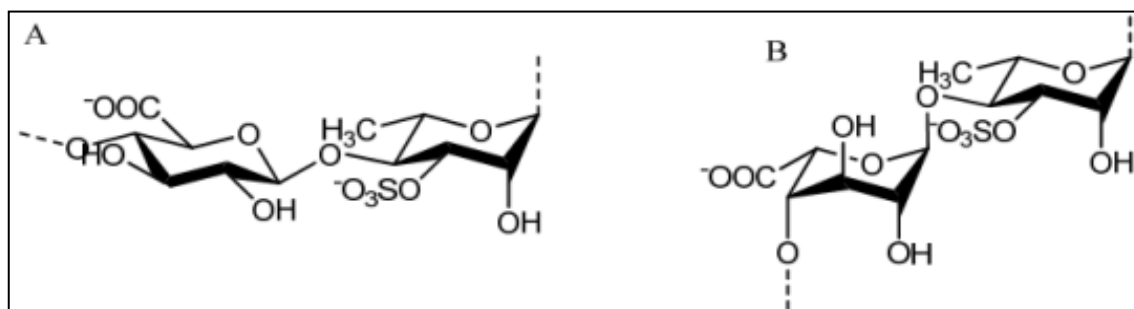


Figure 04.- Structure des principales unités disaccharidiques répétitives d'ulvane : A : $[\rightarrow 4\text{-}\beta\text{-D-Glcp-}(1 \rightarrow 4)\text{-}\alpha\text{-LRhap3S-}(1 \rightarrow)]_n$; B : $[(\rightarrow 4)\text{-}\alpha\text{-L-IdoP-}(1 \rightarrow 4)\text{-}\alpha\text{-LRhap3S-}(1 \rightarrow)]_n$ (JIAO *et al.*, 2011)

I.2.2.2.3.-Alginates

C'est un homopolymère d'acide β -D anhydromannuronique (CLAUDE, 1980). L'alginate est initialement collecté à partir d'algues brunes et est disponible dans le commerce depuis le début du XXe siècle. L'alginate est produit par plusieurs espèces différentes d'algues brunes et

deux espèces différentes de bactéries; *Pseudomonas* et *Azotobacter* (BASUNY et ABOEL-AININ et HASSAN, 2023). Ils sont moins utilisés en raison de leur précipitation en milieu acide, et également en présence de calcium. Les alginate sont des polyuronides, comme les pectines, on observe la formation d'un réseau moléculaire en « boîte d'œufs » lié à l'association de séquences de polyuronates par chélation de Ca^{2+} . Ils ont comme composants soit l'acide D-mannuronique avec la liaison α (1→4), soit l'acide L-gulonique avec la liaison α (1→4) (fig. 5), soit les deux ensembles (copolymères) (ALAIS *et al.*, 2008).

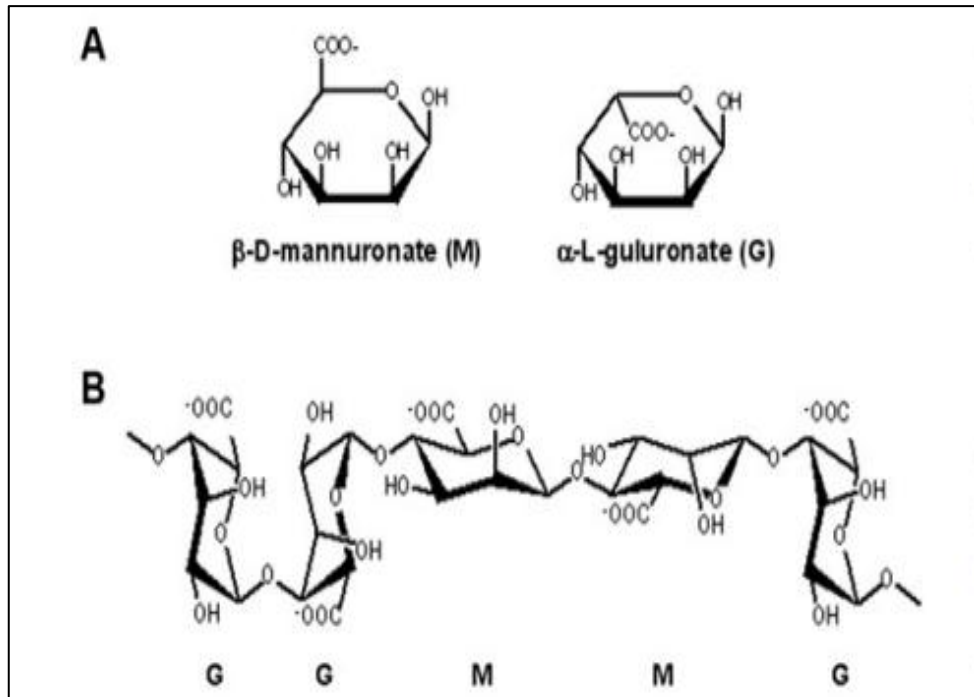


Figure 05.- Unités principales des alginate (a), Chaîne d'alginate (b) (SRIAMORNSAK *et al.*, 2007)

I.2.2.3.-Polysaccharides animaux

I.2.2.3.1.-Glycogène

C'est la forme de stockage du glucose chez les animaux et chez certains organismes unicellulaires comme les levures (WEIL, 2009). Le glycogène s'accumule temporairement comme réserve énergétique dans les muscles squelettiques (BLECHER-BARDELETTI, 2014). Le glycogène est particulièrement abondant dans les hépatocytes (10% environ du poids de l'organe) et les myocytes (1 à 2% de la masse musculaire). C'est un polymère de résidus D-glucose avec des liaisons α (1→4) avec des liaisons α (1→6) qui sont à l'origine de ramifications (fig. 6). Il est plus ramifié que l'amylopectine, dont une ramification tous les 8 à 12 résidus chez

le glycogène et une ramification tous les 20 à 30 résidus chez l'amylopectine (WEINMAN et MEHUL, 2004).

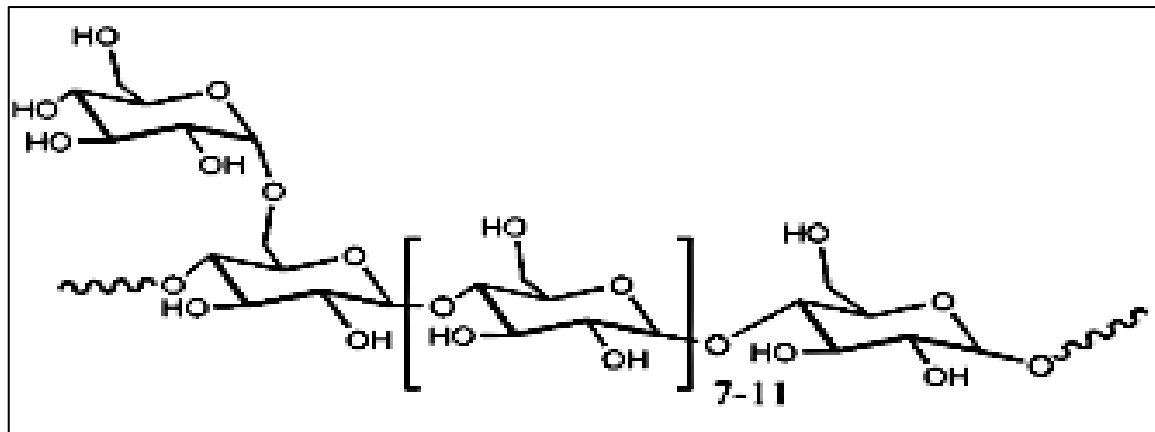


Figure 06.- Unité répétitive du glycogène (PAL *et al.*, 2015)

I.2.2.3.2.-Héparine

L'héparine est un polysaccharide linéaire hautement sulfaté (SOUZA *et al.*, 2015), constitué de D-glucuronate 2-sulfate et de N-sulfo-D-glucosamine-6-sulfate réunis par une liaison α (1 \rightarrow 4) à une distribution plus restreinte (fig. 7). On la retrouve dans des grains de sécrétion présentes à la surface vasculaire et abondante dans les poumons, le foie et la peau (HENNEN, 2006). Il est également sécrété par les mastocytes et a une propriété anticoagulante (MOUSSARD, 2010).

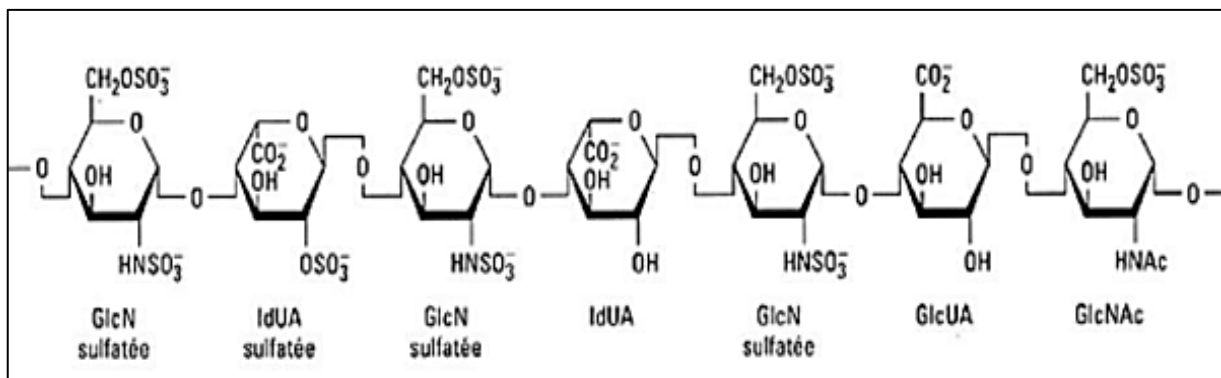


Figure 07.- Unités répétitives d'héparine (MALLEDAN, 2017)

I.2.2.3.3.-Kératane

Le kératane sulfate est un glycosaminoglycane largement retrouvé dans les matrices extracellulaires de certains tissus, tels que la cornée, les cartilages et les os. Le kératane sulfate et

et al., 2015). L'amylose est essentiellement une structure linéaire d'unités de glucose liées par α (1 \rightarrow 4) (fig. 9a). L'amylopectine est constituée de chaînes principales liées par des liaisons α (1 \rightarrow 4) glycosidiques et de chaînes latérales liées par des liaisons α (1 \rightarrow 6) glycosidiques (fig. 9b) (LU *et al.*, 2019). Il rentre dans la composition de nombreux aliments en tant qu'épaississant, gélifiant et stabilisant. Il est également utilisé dans d'autres secteurs comme les industries pharmaceutiques, cosmétiques et textiles (WERTZ, 2011).

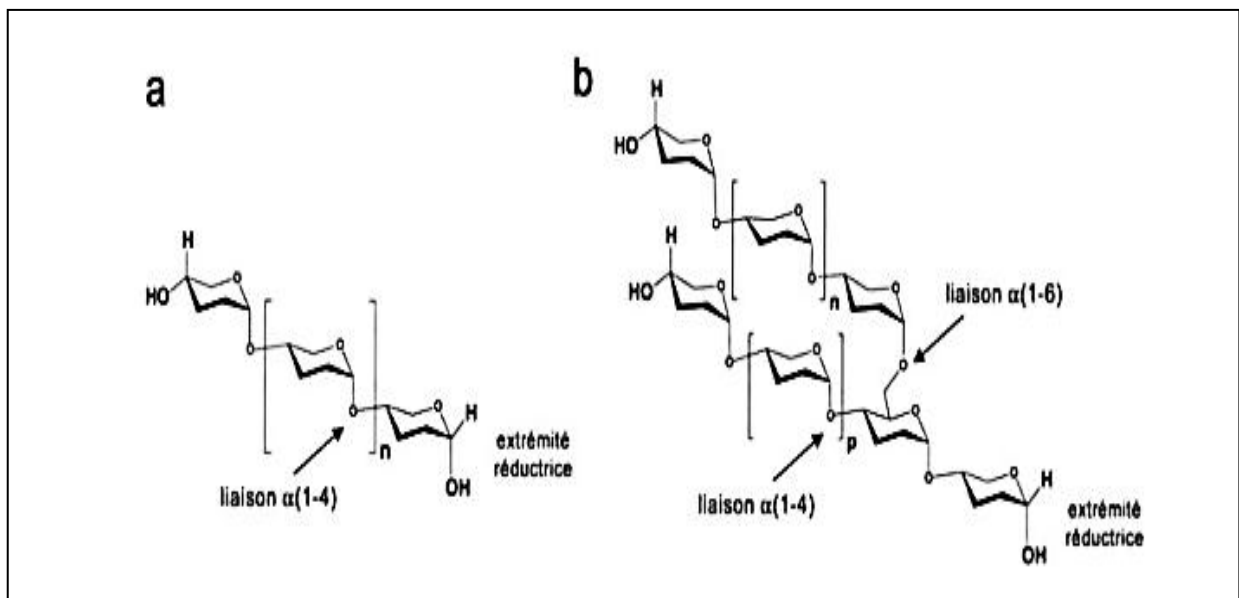


Figure 9.- Structures d'amylose (a) et l'amylopectine (b) (MONTESANTI, 2008)

I.2.2.3.1.2.-Galactomannanes

Ce sont des hétéropolysaccharides hydrosolubles (RASHID *et al.*, 2017). Ils ont une structure généralement linéaire se compose d'une ligature de résidus D-mannopyranose de liaisons glycosidiques β (1 \rightarrow 4), dont certains des groupes hydroxyle de résidus de mannose sont liés par une seule ligature de D-galactopyranose par des liaisons glycosidiques α (1 \rightarrow 6) (fig. 10) (ZACHARIAS et SHEPPARD, 2019; SUN *et al.*, 2018). Certains galactomannanes sont principalement dérivés des graines de *Fabaceae* (Leguminosae), à un caractère non ionique et des propriétés gélifiantes à des concentrations plus faible. Ces polymères sont largement utilisés dans les industries alimentaires, pharmaceutiques, biomédicales, cosmétiques, textiles et papetière (ALBUQUERQUE *et al.*, 2014; PINHEIRO *et al.*, 2011).

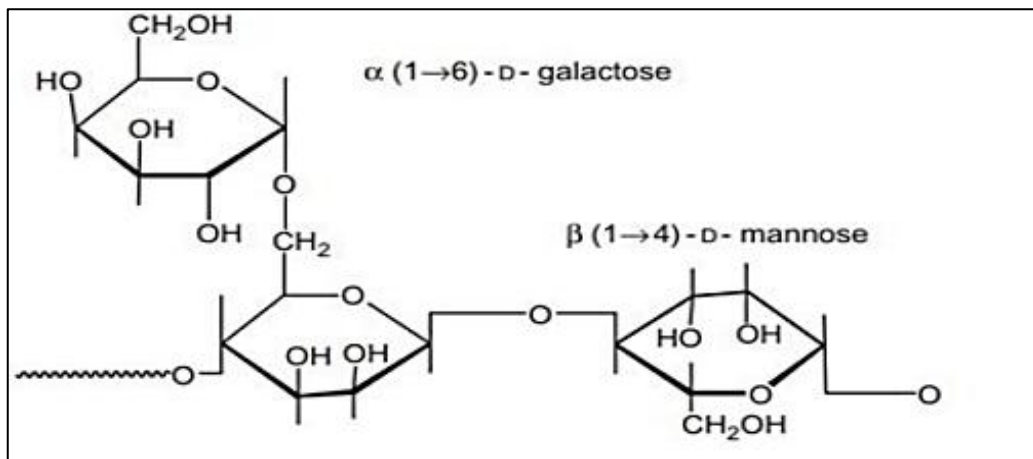


Figure 10.- Unités principales des galactomannanes (GEETA *et al.*, 2018)

I.2.2.3.2.-Polysaccharides de structure

I.2.2.3.2.1.-Cellulose

La cellulose est le polysaccharide le plus abondant dans le monde (DINORO *et al.*, 2019). C'est un polymère naturel, renouvelable, biodégradable, biocompatible, biodégradabilité et une réactivité chimique élevée (SALAMA, 2019; WALISZEWSKA *et al.*, 2018). Elle est produite par de nombreuses plantes ainsi que par certaines bactéries et champignons (TCHOBANIAN *et al.*, 2018). C'est un polymère non ramifié constitué de résidus de D-glucose unis exclusivement par des liaisons β (1 \rightarrow 4), comme dans la cellobiose (Fig.11), deux molécules de D-glucopyranose unies par une liaison β (1 \rightarrow 4) (β -Dglucopyranosyl-(1 \rightarrow 4) - α -D glucopyranose) (fig. 11) (WEINMAN et MEHUL, 2004). C'est l'un des polysaccharides les plus exploités dans différents domaines tels que l'agroalimentaire, l'industrie chimique, la pharmacie, les biocarburants et pour la production de matières plastiques telles que la cellophane (CHOUANA, 2017).

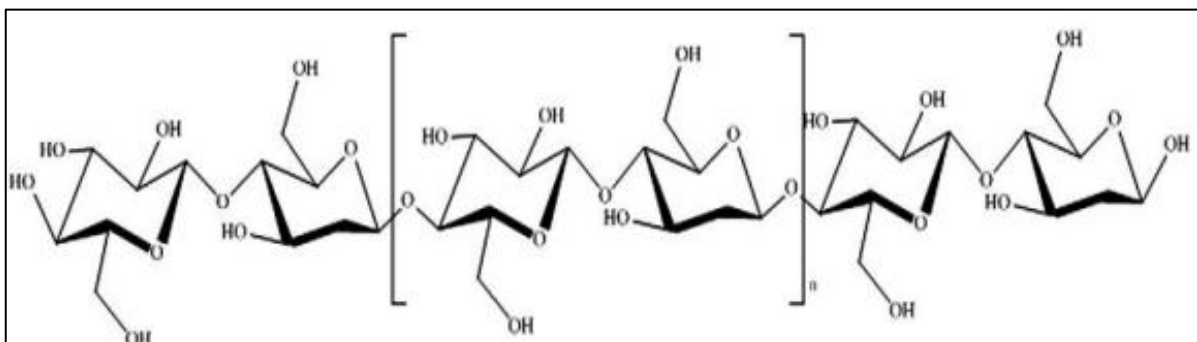


Figure 11.- Unité répétitive de la cellulose (ZUGENMAIER, 2008; UMMARTYOTIN et MANUSPIYA, 2015)

I.2.2.3.2.2.-Pectines

Les pectines sont des polysaccharides complexe, naturel, hydrosolubles et non toxique, que l'on trouve en abondance dans les parois des cellules végétales dans la couche lamellaire moyenne que l'on obtient à partir de sources naturelles telles que les zestes d'agrumes et le marc de pomme (WANG *et al.*, 2019b; ZHANG *et al.*, 2019; BAJPAI, 2020; ALBUQUERQUE *et al.*, 2022). Les polysaccharides pectiques sont composés de domaines, dont le domaine le plus commun est l'homogalacturonane (HG) qui se compose des résidus d'acide α -galacturoniques reliés par des liaisons α (1 \rightarrow 4). Ils peuvent être constitués par des groupes méthyle ou acétyle estérifiés à des degrés variables. Le domaine abondant généralement le rhamnogalacturonan I (RG-I), qui consiste d'acide α (1 \rightarrow 4) -D galacturonosyle et α (1 \rightarrow 2) -L-rhamnosyle, est lié comme une chaîne principale jusqu'à 80% des résidus Rha *p*. Comme il peut avoir des chaînes latérales constituées d' α (1 \rightarrow 5) -L-arabinanes et β (1 \rightarrow 4) -D-galactanes et arabino-4-galactanes. Les résidus α -D-galacturonosyles peuvent être acétylés (fig. 12) (CHEN *et al.*, 2017). Ils sont utilisés en tant qu'agent épaississant, texturant, émulsifiant, stabilisant et gélifiant dans les industries alimentaires, cosmétique et pharmaceutique. Ils ont diverses activités biologiques telles que la cicatrisation, la réduction de l'activité de la lipase, l'inhibition de la croissance des cellules cancéreuses humaines par la stimulation de l'apoptose et la diminution du taux de cholestérol (MELIH *et al.*, 2019).

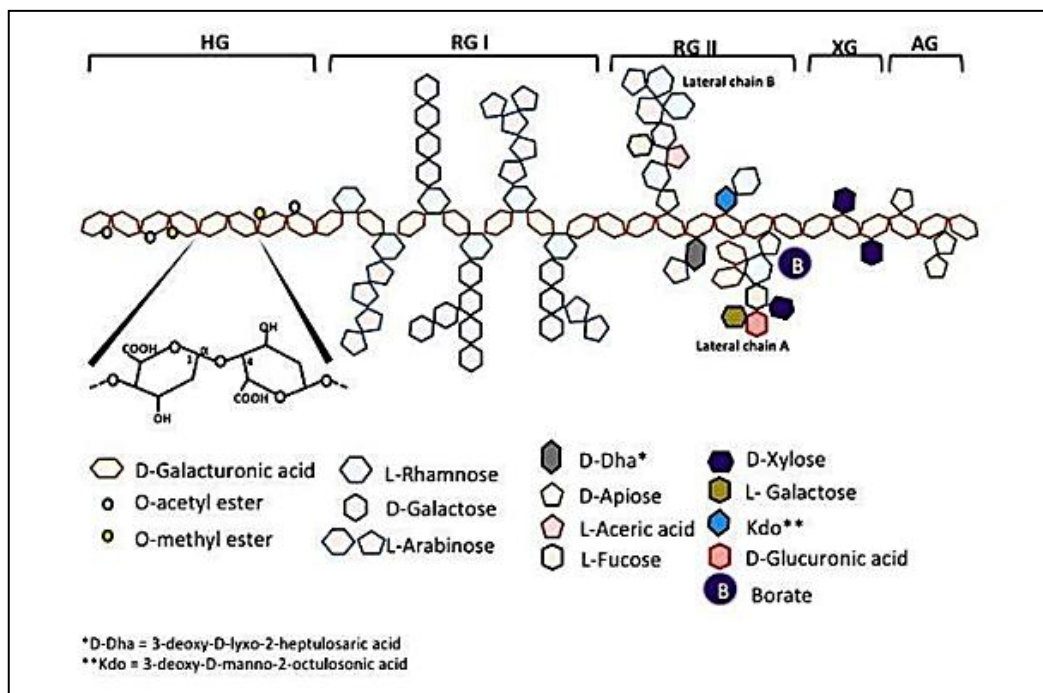


Figure 12.- Organisation générale des structures pectiques (LECLERE *et al.*, 2013)

AG : arabinogalactane, HG : homogalacturonane, RG : rhamnogalacturonane, XG : xylogalacturonane

I.2.2.3.1.-Exsudats et mucilages

Les gommés et les mucilages ont certaines similitudes. Ils sont largement utilisés en industrie pharmaceutique. Les deux sont des hydrocolloïdes végétaux. Ce sont des polymères d'un monosaccharide ou de monosaccharides mixtes et beaucoup d'entre eux sont combinés avec des acides uroniques (JANI *et al.*, 2009).

I.2.2.3.1.1.-Exsudats

Les exsudats provenant des écorces, forment un groupe reconnaissable appelé gommés (BOUAL, 2009). Les gommés sont une large gamme de biopolymères hydrophiles comprenant des polysaccharides et des protéines (SEYFI *et al.*, 2018). C'est un exsudat naturel du tronc, des branches ou des fruits d'arbres dus à la scission, blessure (accidentelle ou délibérée) ou infection fongique. Parfois, les gommés polysaccharidiques sont également appelées hydrocolloïdes (AHMAD *et al.*, 2019).

Le terme « gomme » est fréquemment utilisé pour définir un groupe d'exsudats naturels qui ont la capacité de s'hydrater dans l'eau en formant un gel ou en stabilisant des systèmes d'émulsion (TAHIR *et al.*, 2019). Elles sont utilisées dans les produits pharmaceutiques et de nombreux autres industries (DAOUB *et al.*, 2018).

La gomme arabique est une sorte de polysaccharide naturel, un exsudat séché obtenu à partir des tiges et du tronc d'un arbre d'Acacia, à savoir *A. senegal* et *A. seyal* qui poussent dans la zone Sahélienne de l'Afrique (WU *et al.*, 2018; SHARKAWY *et al.*, 2019; ADDOUN, 2021). C'est un exsudat collant comestible, qui est riche en fibres solubles non-visqueux. Dû aux ses caractéristiques de forte solubilité dans l'eau, de sa faible viscosité, et de ses propriétés d'émulsification (KUCK et NORENA, 2016). Structurellement, il consiste en une chaîne principale constituée des unités de β (1→3) D-galactopyranosyle, composée de résidus de L-arabinofuranose, L-ramnopyranose, acide glucuronique et d'acide 4-O-méthyl- β D-glucuronique (WU *et al.*, 2018; ROUSI *et al.*, 2019). La gomme contient approximativement 39 à 42% de galactose, 24 à 27% d'arabinose, 12 à 16% de rhamnose, 14 à 16% d'acide glucuronique –qui lui confère son caractère anionique, 1.5 à 2.6% de protéines et 0.22 à 0.39 % d'azote (BENYAGOU *et al.*, 2016). Elle est largement utilisée à des fins industrielles, comme dans la lithographie traditionnelle, l'imprimerie, les textiles et les applications pharmaceutiques (DONG *et al.*, 2017).

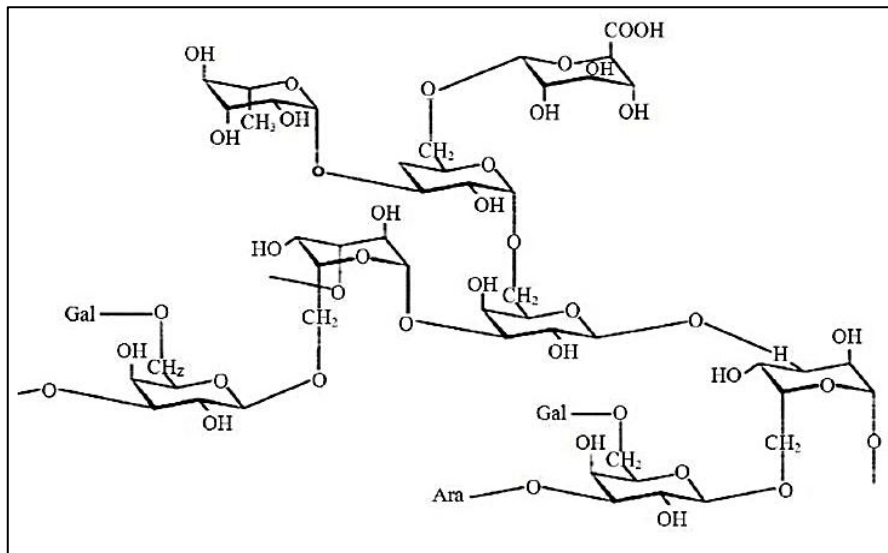


Figure 13.- Structure de la gomme arabique (DAUQAN et ABDULLAH, 2013)

I.2.2.3.1.2.-Mucilages

Le mucilage est une substance collante et semblable au mucus sécrétée par presque toutes les plantes et un grand nombre de protiste, en particulier le phytoplancton et les algues vertes (GOKSEN et al., 2023). Les mucilages sont en générale des produits normaux du métabolisme, formés à l'intérieur de la cellule (MIRHOSSEINI et AMID, 2012) c'est considéré comme un groupe d'hydrocolloïdes interagissant fortement avec l'eau pour former de gros agrégats moléculaires, composés principalement de polysaccharides et peu de protéines (GEORGE et SUCHITHRA, 2019; CHIANG et LAI, 2018). Les études indiquent que le mucilage doit être composé principalement d'arabinose, de xylose, de mannose, de galactose et de glucose, impliquant une structure fortement ramifiée (MANHIVI *et al.*, 2018; SOUKOULIS *et al.*, 2018) De nos jours, les mucilages sont largement utilisés comme des stabilisateurs et des agents suspendant (RAYEGAN *et al.*, 2018). Les mucilages acides sont retrouvés en grande majorité dans les plantes de la famille des Plantaginaceae (BRUNETON, 2009).

La graine de lin *Linum usitatissimum* (Linacées) (WARRANT, 2004), contient un ingrédient sous-utilisé, mais à fort potentiel connue comme mucilage, une fibre soluble, qui constitue 10% du poids de la graine et se trouve dans la couche la plus externe de l'enveloppe de la graine. Deux fractions de polysaccharides hétérogènes constituent le mucilage, dont une fraction d'arabinoxylane neutre (75%) et une fraction de rhamnogalacturanane (25%) (MEHELLOU, 2015). Parmi ceux-ci, le mucilage provenant des graines de lin s'est révélé avoir un potentiel considérable pour des applications larges et prometteuses allant de l'industrie alimentaire aux cosmétiques en passant par les soins de santé (MUSA, 2019).

I.3.-Activités biologiques des polysaccharides

Au cours des dernières années, il est confirmé que les polysaccharides issus des ressources naturelles (micro-organismes, plantes et animaux) possèdent des nombreux avantages thérapeutiques, des effets bénéfiques et des propriétés favorables à la santé (ZHAN *et al.*, 2018). Une grande attention est accordée aux polysaccharides en raison de leurs fonctions physiologiques et biologiques essentielles, telles que la protection, l'activité immunomodulatrice, l'activité anti-inflammatoire, l'activité antidiabétique et l'activité antioxydante. Des rapports récents ont révélé que les activités biologiques des polysaccharides sont étroitement liées à leur conformation en chaîne et à leur structure; dont la composition chimique, le poids moléculaire, et le degré de ramification. L'élucidation de la structure et la conformation est nécessaire afin de mieux comprendre les fonctions biologiques des polysaccharides (FEDAIL *et al.*, 2016; HE *et al.*, 2017). Pour expliquer le mécanisme d'action des polysaccharides, de nombreuses études sont faites pour révéler la relation entre les structures polysaccharidiques et leurs activités biologiques (WANG *et al.*, 2017c).

I.3.1.-Activité antioxydante

Les espèces réactives d'oxygène (ERO) sont des molécules chimiquement actives contenant l'oxygène, formées en tant que sous-produits naturels du métabolisme normal des rôles importants de l'oxygène (LIU *et al.*, 2013). Les espèces réactives de l'oxygène (ERO), y compris l'oxygène singlet ($\frac{1}{2}O_2$), le peroxyde d'hydrogène (H_2O_2) ainsi que les radicaux libres comme l'anion superoxyde (O_2^{\cdot}) et hydroxyle (OH^{\cdot}), peuvent être générés au cours des processus métaboliques cellulaires normales tels que la respiration ou diverses réactions chimiques, soit l'ionisation par les rayonnements ultraviolets (FAN *et al.*, 2014).

Les radicaux libres excessifs et oxydants accumulés dans le corps humain produits un phénomène appelé stress oxydatif qui est une condition caractérisée par un déséquilibre entre les molécules pro-oxydantes et les défenses antioxydants (AHMED *et al.*, 2016). Il entraîne des dommages oxydatifs sur la santé humaine en réagissant avec des protéines, des acides nucléiques et de nombreuses autres biomasses (MIAO *et al.*, 2017), ce qui contribue à divers processus pathologiques tels que le vieillissement, l'inflammation, le cancer, et l'athérosclérose (KSOURI *et al.*, 2012). Les défenses antioxydants reposent sur des systèmes enzymatiques comme superoxydes dismutases [SOD], catalase, glutathion peroxydase, et non enzymatiques comme vitamines C et E, polyphénols, ... etc. (LEVERVE, 2009).

Certaines études ont montré les effets antioxydants *in vitro* des polysaccharides de *Plantago* L. Les polysaccharides nommés PDP, obtenu à partir de *Plantago depressa*, sont capables de piéger les radicaux hydroxyles, DPPH et ABTS. De plus, dans le test d'inhibition du blanchiment de β carotène, le PDP note une activité plus élevée que la vitamine C (HAN *et al.*, 2016). Des polysaccharidique appelées PLP sont isolées et purifiées à partir des graines de *Plantago asiatica* L. Leurs activités en tant qu'antioxydant sont évaluées par le piégeage des radicaux DPPH, réduction des radicaux hydroxyles et l'inhibition de la peroxydation lipidique. Les résultats ont indiqué que le PLP est très efficace dans le piégeage des radicaux libres (JI *et al.*, 2019).

Les feuilles de *Plantago* sont composées principalement d'acide galacturonique et de quantités mineures d'arabinose et de rhamnose, tandis que dans les polysaccharides acidosolubles, l'acide galacturonique, le galactose et le rhamnose sont détectés. En basant sur les tests DPPH et FRAP, les polysaccharides isolés de *Plantago* ont montré une activité antioxydante significative (LUKOVA *et al.*, 2017).

Deux fractions des polysaccharides, extraits des graines et des cosses de psyllium (*Plantago ovata* Forssk) sont nommées SPS et HPS respectivement. Les polysaccharides extraits et fractionnés des deux fractions comprennent le D-xylose, l'L-arabinose, le D-glucose, le D-galactose et le L-rhamnose. Les pourcentages d'inhibition des radicaux ABTS sont 59.95%, 63.32% et 65.63% pour les polysaccharides extraits des graines SPS, SPS1 et SPS2, respectivement. De même, des inhibitions de 50.62 %, 59.12 % et 66.44 % sont observées avec les polysaccharides des cosses, soit HPS, HPS1 et HPS2, respectivement (PATEL *et al.*, 2019).

I.3.2.-Activité anti-inflammatoire

L'inflammation est une réaction de défense de l'organisme à diverses agressions qui peuvent être d'origine physique, chimique, biologique (réponse immunitaire) ou infectieuse (NDIAYE *et al.*, 2006). Cette réaction est souvent bénéfique mais il arrive parfois qu'elle endommage les cellules et les tissus. On appelle système du complément, un groupe de protéines sériques impliqué (RIOUX., 2010) dans la phagocytose conduisant à la libération de médiateurs chimiques tels que les prostaglandines, le facteur de nécrose tumorale et les interleukines (SHEHATA *et al.*, 2018), en conduisant à la lyse des bactéries. Le traitement actuel de l'inflammation fait appel aux anti-inflammatoires stéroïdiens (glucocorticoïdes) et non stéroïdiens comme l'aspirine. Ces molécules bien qu'étant efficaces présentent le plus souvent des effets indésirables qui peuvent gêner leur utilisation au long cours (NDIAYE *et al.*, 2006).

Il est démontré que les lésions hépatiques induites par les lipopolysaccharides (LPS) entraînent souvent une surproduction de cytokines pro-inflammatoires et de ROS. Une expression élevée d'interleukine IL-6 après le traitement par le LPS a également considérée comme un signe de lésion hépatique. Des souris ont été prétraitées par voie orale avec une dose différente des polysaccharides obtenus à partir des graines de *Plantago asiatica* L. (PLCP) pendant 3 semaines. Le jour 22, ils sont injectés par voie intrapéritonéale avec du LPS et sacrifiés 12 h plus tard. Les résultats ont montré que le PLCP a inhibé la production excessive de facteur de nécrose tumorale- α , d'interleukine (IL) -6, IL-10, IL-2 et IL-1b dans le sérum et le foie de souris. Par conséquent, le PLCP peut posséder des effets anti-inflammatoires et protecteurs sur les lésions hépatiques (LI *et al.*, 2019).

I.3.3.-Activité antidiabétique

Le diabète sucré est une maladie métabolique chronique grave caractérisée par une absorption délétère de glucose et une hyperglycémie, dus aux défauts dans la sécrétion de l'insuline ou de son action ou bien les deux (CHEN *et al.*, 2016; FEDAIL *et al.*, 2016). Des études indiquent que certains polysaccharides n'augmentent pas la sécrétion d'insuline dans le corps, mais ils peuvent améliorer significativement l'activité de la glucokinase, de l'hexokinase et de la glucose-6-phosphate déshydrogénase (G6PD) dans le foie. Ils peuvent également réduire le taux de triglycérides et de cholestérol dans le plasma (SHI, 2016).

L'effet hypoglycémique du psyllium est étudié à l'aide de plusieurs modèles animaux. Le diabète de type 1 chez le rat est induit par une injection intrapéritonéale unique chez des rats à jeun anesthésiés à 65 mg de streptozotocine/kg de poids corporel, qui est dissous dans un tampon citrate à 0.5 M. Pendant ce temps, le diabète de type 2 est induit par une injection intrapéritonéale unique de 90 mg de streptozotocine/kg de poids corporel chez des rats âgés. L'administration de polysaccharide du psyllium a significativement amélioré la tolérance au glucose chez les modèles de rats diabétiques de types 1 et 2. En particulier, lorsque le polysaccharide de psyllium était administré par voie orale avec une solution de saccharose sur le modèle de rat, il a supprimé la glycémie postprandiale et a retardé l'absorption de saccharose de l'intestin grêle, sans induire un afflux dans le gros intestin (NIE *et al.*, 2018).

I.3.4.-Activité immunomodulatrice

Les composés qui sont capables d'interagir avec le système immunitaire pour réguler positivement ou réguler négativement les aspects spécifiques de la réponse de l'hôte peuvent être classés comme des immunomodulateurs ou des modificateurs de la réponse biologique

(TZIANABOS, 2000). L'immunomodulateur est défini comme l'action des substances qui peuvent stimuler, supprimer ou moduler les composantes de système immunitaire inné ou adaptatif (CHEN *et al.*, 2017), afin de prévenir ou de traiter les malades (ZHAO *et al.*, 2018). Son principal mécanisme implique des récepteurs spécifiques, dont les récepteurs Toll Like (TLR). La famille TLR des mammifères est un groupe de récepteurs codés pour la lignée germinale qui déclenchent des réponses immunitaires en reconnaissant les modèles moléculaires associés aux agents pathogènes microbiens. La famille comprend au moins 11 récepteurs, dont TLR2 et TLR4 sont bien caractérisés en tant que récepteurs transmembranaires impliqués dans la reconnaissance de ligands contenant des fragments glucidiques. Lors de la détection des ligands, ces TLR déclenchent la cascade de signalisation, qui active les protéines kinases activées par les mitogènes (MAPKs), régulant la prolifération cellulaire, la survie et les réponses immunitaires (JI *et al.*, 2019).

Beaucoup de polysaccharides obtenus à partir des sources naturelles sont considérés comme modificateurs biologiques de réponse immunitaire et ont montré une augmentation de diverses réactions immunitaires (WIJESINGHE et JEON, 2012). Les polysaccharides agissent sur l'arbre immunologique à divers niveaux tel que l'activité phagocytaire des macrophages et des granulocytes, la cytotoxicité des cellules Natural Killer, la transformation des lymphocytes B et sur la prolifération des lymphocytes T. Ils peuvent également activer le complément et la production d'anticorps (GOETZ, 2004; BACHELET, 2013). L'action immunomodulatrice des polysaccharides de champignons, est particulièrement utile comme moyen de prophylaxie, d'une forme légère et non-invasive de traitement, de la prévention de tumeurs métastatiques et en tant que co-traitement avec une chimiothérapie (WASSER, 2002).

Les polysaccharides hémicellulosiques, de plantes comme *Plantago major L.* (Plantaginaceae) dont le complexe hétéroxylane présente une activité anti-complémentaire. De plus, il est rapporté que les polysaccharides acides des graines de *Plantago asiatica L.* (PLP) induisaient une augmentation dose-dépendante de la formation d'oxyde nitrique (NO) dans les cellules des macrophages. L'implication de la signalisation TLR dans les réponses des cellules des macrophages médiées par le PLP est également étudiée, révélant que la prolifération est induite par le PLP dans les cellules des macrophages (HU *et al.*, 2016).

L'activité immunomodulatrice des β -glucanes est associée à l'induction de la production du facteur de nécrose tumorale alpha (TNF- α), d'interféron γ , d'interleukine 8 (IL-8). Elle se traduit également par l'activation des macrophages et des lymphocytes T cytotoxiques (EL ENSHASY et HATTI-KAUL, 2013). De même, les polysaccharides (PLLCP) extraits des

feuilles de *Plantago asiatica* L. et sa sous fraction principale (PLLP-2) ont atteint les effets immunomodulateurs en favorisant la sécrétion de cytokines pro-inflammatoires dans les cellules macrophages RAW264.7 (ZHANG *et al.*, 2019). Ces résultats indiquent que les polysaccharides de *Plantago* L. possèdent des propriétés immunomodulatrices en stimulant la production de NO et de TNF- α dans les macrophages activés (ZHAO *et al.*, 2014; JI *et al.*, 2019).

I.2.- Généralités sur *Plantago*

Les plantes de la famille Plantaginaceae sont des plantes ordinairement herbacées, parfois arbustives ou arborescentes, pouvant être parasites, aquatiques ou grimpantes. Elles sont rarement ligneuses à la base, portant des feuilles en rosette basale opposées ou alternes avec une inflorescence en épis denses plus ou moins allongés (QUEZEL et SANTA, 1963). Elle comprend habituellement trois genres, à savoir, *Plantago*, le genre le plus vaste, qui regroupe plus de 260 espèces, *Littorella* qui compte 3 espèces et *Bougeria* qui est représenté par 1 seule espèce (LEWALLE, 1978; WOLFF et SCHAAL, 1992; BENAOUN, 2017).

La dénomination botanique de *Plantago* provient de « planta » qui signifie la plante des pieds et de « ago », « je pousse », autrement dit qui pousse sous la plante des pieds. Le genre *Plantago* est le plus vaste de la famille des Plantaginaceae (QUEZEL ET SANTA, 1963; OZENDA, 1977). *Plantago* est un genre d'herbes et de sous-arbustes annuels et pérennes avec une distribution mondiale. Le genre *Plantago* est divisé en deux sous-genres : Sub-genre *Plantago* à feuilles alternes et le Sub-genre *Psyllium* à feuilles opposées (TASKOVA *et al.*, 2002; TUTEL *et al.*, 2005). (GORENFLOT et BOURDU, 1962; HAMD AOUI et HEDOUD, 2019). Ils sont concentrés dans les régions tropicales tempérées et à haute altitude (GAZER ET SHALABI, 2016) (VAN DER AART et VULTO, 1992).

Plusieurs espèces de genre *Plantago* sont utilisées en médecine traditionnelle (TRIVEDI, 2009). En effet, *P. major* est couramment utilisée comme plante médicinale dans le traitement d'un certain nombre de maladies liées à la peau, aux organes respiratoires, aux organes digestifs, à la reproduction, à la circulation, à la prévention du cancer, aux maladies infectieuses...etc. (STANISAVLJEVIC *et al.*, 2008). De même, *P. lanceolata* est utilisé à des fins médicinales tels que la cicatrisation des plaies, l'inflammation, le cancer, les troubles du système respiratoire, la circulation sanguine, le système reproducteur et les organes digestifs (ABATE *et al.*, 2022). De plus, *P. media* est utilisée en médecine traditionnelle pour plusieurs applications, telles que antimicrobienne, anti-inflammatoire, antihistaminique, hémostatique, cicatrisante, expectorante et diurétique (RADU *et al.*, 2021). Ainsi, *P. coronopus* est couramment utilisée comme légumes

dans la cuisine traditionnelle des Balkans et leurs feuilles sont des ingrédients de salade en France et en Italie (CECCANTI *et al.*, 2022).

Les espèces de *Plantago* sont distribuées dans toutes les régions phytogéographiques soit comme mauvaises herbes en culture, soit dans les environnements plus arides des déserts et des oasis (GAZER et SHALABI, 2016). Concentré dans les régions tropicales tempérées et à haute altitude, les espèces de *Plantago* sont des plantes vivaces herbacées originaires de Méditerranée, d'Europe centrale et des régions tempérées d'Asie ainsi que d'Amérique du Nord (GAZER et SHALABI, 2016). Ce sont des espèces de rosette pastorale que l'on trouve du nord au sud de la Tunisie et du Maroc dans une gamme de bioclimats à l'aridité croissante (PUECH *et al.*, 1998). Elles se répandent dans le Sahara algérien comme Oued Souf. Ce sont des plantes très polymorphe abondant sur les hauts-plateaux et dans la région présaharienne, dont Ain Sefra, Zenaga, Laghouat, Bou Saada, Tolga, Biskra, en poussant à moins de 400 mm de pluie chute par an (POUGET, 1980; OZENDA, 1983; DJEBAILI, 1984; HOUEROU, 1995).

Dans la région d'El Oued (Algérie), les jeunes inflorescences de *Plantago albicans* L. peuvent être consommées. Il a une saveur et un goût distinctifs, et puisque c'était. La plante a de nombreuses propriétés thérapeutiques efficaces, dont la consommation peut apporter des bienfaits au corps. De plus, elle est considérée comme l'une des plantes pastorales importantes. Elle est également considérée comme une plante médicinale, car elle est utilisée pour panser toutes sortes de plaies (plaies, éruptions cutanées, morsures d'animaux, piqûres d'insectes comme les abeilles et les guêpes...), où les tendres feuilles sont appliquées. De même, elle est utilisée pour traiter la constipation (HELIS, 2005).

CHPITRE II

Matériel et méthodes

La méthodologie du travail porte sur le principe de l'étude, le matériel d'étude, et l'étude des polysaccharides, dont l'extraction des polysaccharides hydrosolubles et la caractérisation de leur composition par une série de dosages colorimétriques incluant la teneur des oses totaux, des neutres, des protéines et des polyphénols, et par une analyse spectroscopique infrarouge. De même, l'étude contribue à l'évaluation des activités antioxydantes.

II.1.- Principe d'étude

Les plantes médicinales sont utilisées depuis l'antiquité comme des agents thérapeutiques pour la gestion de la santé et le traitement des maladies (ZHANG et MA, 2018). Elles sont étudiées avec le plus grand intérêt dans les trois quarts de la population mondiale grâce à leurs bio-activités et faibles toxicités par rapport aux molécules de médicaments synthétiques (BORAH *et al.*, 2020). De plus, les polysaccharides végétaux ont des activités thérapeutiques prouvées telles que antioxydantes, régulatrices du système immunitaire, antiinflammatoires, antitumorales et anticancéreuses (SZEWCZYK *et al.*, 2018; ZHAO *et al.*, 2023a).

Le présent travail s'oriente sur l'étude des polysaccharides hydrosolubles de la plante saharienne spontanée *Plantago albicans* L. issue de la région d'El Oued. L'étude vise vers l'extraction hydrosoluble des polysaccharides, la caractérisation partielle par des dosages colorimétriques, une analyse infrarouge et la réalisation des tests et des analyses biologiques portent sur l'activité antioxydante.

II.2.- Matériel d'étude

Le matériel d'étude regroupe l'appareillage, les produits chimiques, ainsi que le matériel biologique.

II.2.1.-Matériel biologique

Il est constitué de matériel végétal présenté par des feuilles de *Plantago albicans* L., récoltés dans la wilaya d'El-Oued et séchés à l'ombre avant d'être broyés.

II.2.1.1.- Choix d'espèce végétale

Le genre *Plantago* L. est le plus grand genre de la famille Plantaginaceae avec environ 275 espèces. La plupart des espèces du genre cosmopolite *Plantago* sont largement utilisées en médecine traditionnelle. De nombreuses études sont signalées sur des différentes activités biologiques des espèces de *Plantago* comme hépato-protectrice, anti-inflammatoire, antivirale,

immunomodulatrice, antioxydante (OZBEK *et al.*, 2010; TINKOV *et al.*, 2014; KARAKAŞ, 2023), antiobésité (XIA *et al.*, 2019), antirhumatisme (ŠARIC-KUNDALIC *et al.*, 2010), antidiabétique et anticancéreux (EL SOUDA *et al.*, 2014). Pour la présente étude le choix est porté sur plante spontanée à caractère médicinal du Sahara septentrional Est algérien issue de la région d'El Oued. Il s'agit de *Plantago albicans* L.

II.2.1.2.- *Plantago albicans* L.

II.2.1.2.1.- Description botanique

Plantago albicans L. (photo 01) est une plante vivace, herbacée à long gradient d'altitude. En raison de sa large répartition, l'habitat de *P. albicans* L. peut être très hétérogène (PUECH *et al.*, 1998). Elle est reconnaissable à cause de son aspect velu soyeux et à y ses feuilles lancéolées à bords ondulés (QUEZEL et SANTA, 1963; COSTE ABBE ,1937). Les fleurs sont généralement pollinisées par le vent sans caractéristiques morphologiques attrayantes (SOEKARJO, 1992). Sa base rhizomateuse porte des rejets qui assurent la survie pendant les années sèches (PUECH *et al.*, 1998) et permettent une multiplication végétative active pendant la saison de croissance (PONTANIER *et al.*, 2003).



Photo 01.- *Plantago albicans* L. à Hassi Khelifa, Wilaya d'El Oued (Algérie)

II.2.1.2.2.- Position systématique

La position systématique de *P. albicans* L. est la suivante :

- **Règne** : plante
- **Embranchement** : Spermaphyte
- **Sous-embranchement** : Angiosperme
- **Classe** : Dicotylédones
- **Ordre** : Lamiales
- **Famille** : Plantaginaceae
- **Genre** : *Plantago*
- **Espèce** : *Plantago albicans* L. (QUEZEL et SANTA ,1962; OZENDA ,1977)

II.2.1.2.3.- Récolte et partie étudiée

Pour la présente étude l'espèce *Plantago albicans* L. est récoltée le 26 décembre 2022 au niveau à Hassi Khelifa, Wilaya d'El Oued (Algérie), dans un point caractérisé par les coordonnées géographiques de latitude 33°32'12.97310" Nord, et de longitude 7°1'57.57150" Est. Après la récupération de la plante, ses différentes parties sont séparés où les feuilles sont la partie retenue dans ce travail pour l'extraction et l'étude de leurs polysaccharides.

II.3.- Méthodes d'étude

Dans cette partie, la méthode d'extraction des polysaccharides, les différents dosages colorimétriques, l'analyse spectroscopique et les tests biologiques sont développés.

II.3.1.-Technique de séchage et de broyage

Un séchage de la partie à étudier de la plante est effectué à l'abri de la lumière et à température ambiante (ADDOUN *et al.*, 2021), suivi d'un broyage avec un mixeur électrique (MEHELLOU, 2015). Les différents broyats sont conservés dans des boîtes et à l'abri de la lumière jusqu'à leur analyse.

II.3.2.-Extraction hydrosolubles des polysaccharides

Une quantité de 20 grammes de broyât (GHAZALA *et al.*, 2015; XU *et al.*, 2016) est prétraitée par 200 ml d'éthanol à 95% (BOUAL *et al.*, 2013a) à une température ambiante

pendant 2 heures (YANG *et al.*, 2015; TABARSA *et al.*, 2019). Afin d'éliminer les monosaccharides, les oligosaccharides et les constituants colorés (BOUAL *et al.*, 2011; CHENG *et al.*, 2013; HU *et al.*, 2018). Puis, le broyat est macéré dans l'eau distillée à 80°C pendant deux heures avec agitation occasionnelle (CHIDOUH *et al.*, 2014; WANG *et al.*, 2014; HE *et al.*, 2017; HAO *et al.*, 2020), dont la macération est répétée trois fois (WANG *et al.*, 2014). Après une centrifugation à 3500 rpm pendant 10 min, les surnageants récupérés sont précipités par addition de 4 volumes d'éthanol à 95% (XIA *et al.*, 2019) à 4° C pendant 16 heures (HONG *et al.*, 2018). Après centrifugation à 3500 rpm pendant 10 min, les culots obtenus, sont récupérés est re-précipité par addition de 3 volumes d'éthanol à 95% (BOUAL, 2014; WANG *et al.*, 2017) à 4° C pendant 16 heures (HONG *et al.*, 2018). Après centrifugation à 3500 rpm pendant 10 min, les culots obtenus sont lavés avec l'acétone trois fois (ZHANG *et al.*, 2010; ADELI et SAMAVATI, 2015; TABARSA *et al.*, 2018). Les polysaccharides obtenus sont séchés pendant 24h à 45°C dans une étuve (CHOUANA *et al.*, 2017), pour obtenir des extraits polysaccharidiques bruts.

Le rendement est la quantité d'extrait obtenue à partir de la poudre végétale. Il est exprimé sans unité ou en pourcentage (ROMDHANE *et al.* 2017; CHEN *et al.*, 2019) est calculé selon WANG *et al.* (2018) par la formule suivante :

$$\text{Rendement (\%)} = \frac{\text{Poids des polysaccharides bruts sec (g)} \times 100}{\text{Poids de la poudre sec de la plante (g)}}$$

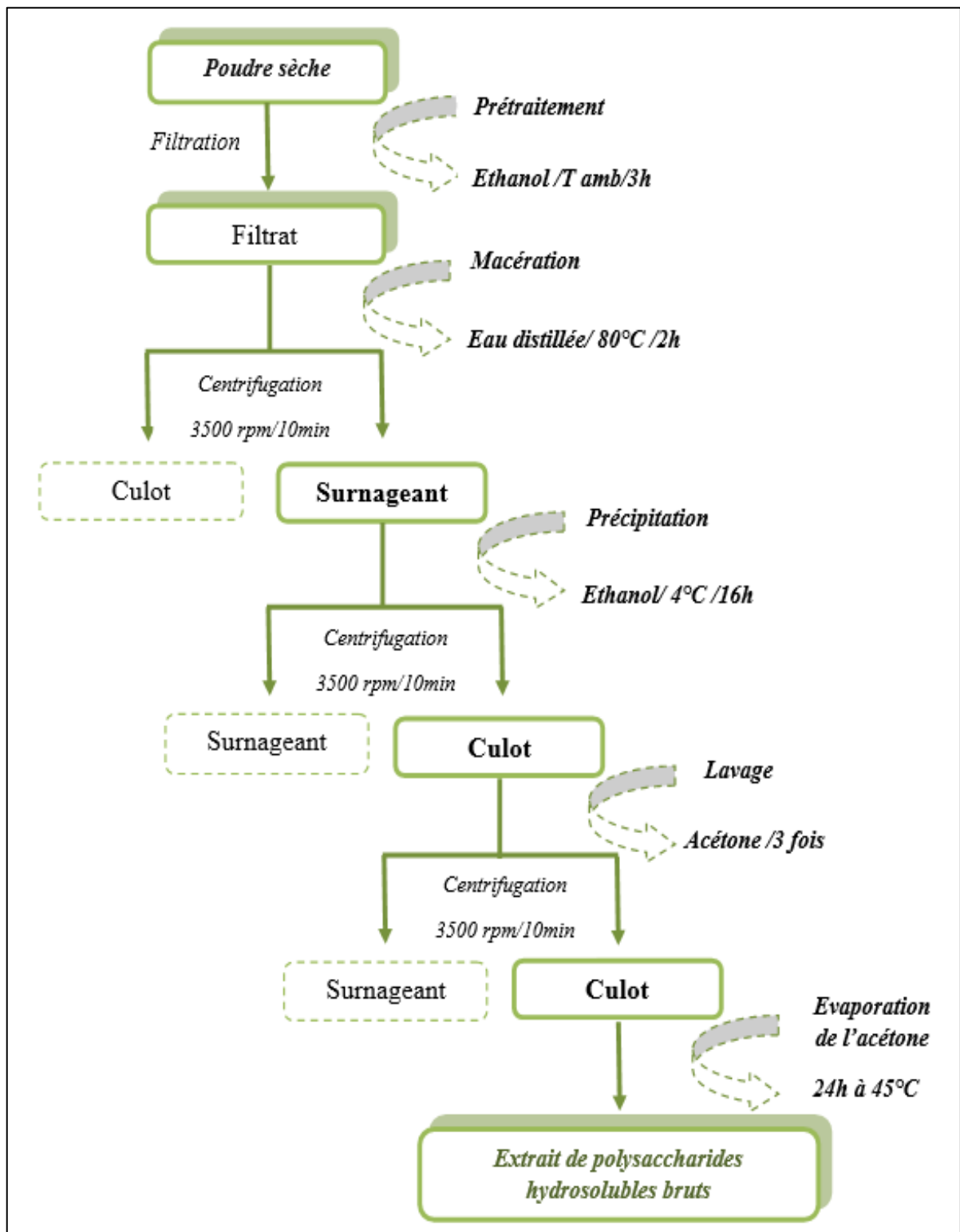


Figure 14.- Différentes étapes d'extraction des polysaccharides hydrosolubles de *Plantago albicans* L. (XU *et al.*, 2016; GHAZALA *et al.*, 2015; BOUAL *et al.*, 2013a; YANG *et al.*, 2015; TABARSA *et al.*, 2019; CHIDOUH *et al.*, 2014; WANG *et al.*, 2014; HE *et al.*, 2017; HAO *et al.*, 2020; XIA *et al.*, 2019; HONG *et al.*, 2018; ADELI et SAMAVATI, 2015; ZHANG *et al.*, 2010; TABARSA *et al.*, 2018; CHOUANA *et al.*, 2017; SU *et al.*, 2017)

II.3.3.- Composition des extraits bruts de polysaccharides

L'étude de la composition de l'extrait des polysaccharides hydrosolubles consiste à déterminer les teneurs en oses totaux, oses neutres, protéines et polyphénols sont déterminés par des méthodes colorimétriques. Des solutions de 0.1% sont préparées à partir des échantillons Polysaccharidiques hydrosolubles. Pour le dosage des oses (totaux, neutres) une dilution de 1/10 est effectuée, alors que les solutions de 0.1% sont utilisées pour le dosage des protéines et des polyphénols.

II.3.3.1.- Dosage des oses

Les deux méthodes de DUBOIS *et al.* (1956) et MONSIGNY *et al.* (1988) sont utilisés pour évaluer des concentrations des oses totaux et des oses neutres respectivement dans l'extrait brut.

II.3.3.1.1.- Dosage des oses totaux

La teneur en oses totaux dans l'extrait polysaccharidique brut des feuilles de *Plantago albicans* L. est déterminée selon la méthode de DUBOIS *et al.* (1956).

II.3.3.1.1.1.- Principe

En présence de l'acide sulfurique concentré à chaud, les liaisons glycosidiques sont hydrolysées. Une tétra déshydratation suivie d'une cyclisation des monosaccharides libérés donne des dérivés furfuraliques et des dérivés d'acide 5-formylfuroïque. Ces produits se condensent avec le phénol pour donner des complexes jaune-orangé. Ces complexes permettent de suivre la concentration en oses totaux de l'échantillon en lisant l'absorbance à 492 nm (BRUDIEUX, 2007; BOUAL *et al.*, 2013b; BRIAN-JAISSON, 2014).

II.3.3.1.1.2.- Mode opératoire

Dans des tubes en verres, il est placé un mélange de 200µl d'échantillon et 200µl de phénol 5%. Après homogénéisation, 1ml d'acide sulfurique H₂SO₄ (95%). Les tubes sont incubés à 90°C pendant 5 min, puis ils sont refroidis dans un bain de glace et laissés 30 min à l'abri de la lumière (GENESTIE, 2006; TEDJANI *et al.*, 2023). L'absorbance est par la suite mesurée à 492 nm par un spectrophotomètre UV-visible (BRUDIEUX, 2007).

II.3.3.1.2.- Dosage des oses neutres

Les oses neutres sont dosés par une méthode colorimétrique mis en point par MONSIGNY *et al.* (1988).

II.3.3.1.2.1.- Principe

Le dosage des oses neutres se repose sur la réaction des dérivés furfuriques obtenus par action à chaud d'un acide concentré comme l'acide sulfurique (DUBOIS *et al.* 1956). En présence d'un composé aromatique tel que le résorcinol (1.3 dihydroxybenzène), ces dérivés furfuriques se condensent et donnent des composés de couleur jaune brune (MONSIGNY *et al.*, 1988).

II.3.3.1.2.2.- Mode opératoire

Dans des tubes en verres, 200µl d'échantillon, 200µl de résorcinol de 6mg/ml et 1 ml d'acide sulfurique concentré sont mélangées. Par la suite, les tubes sont placés pendant 30 min dans un bain marie à 90°C, puis placés dans un bain de glace et à l'abri de la lumière durant 30 min. La lecture est effectuée à la longueur d'onde 480 nm, au spectrophotomètre UV visible (MONSIGNY *et al.*, 1988; TEDJANI *et al.*, 2023).

II.3.3.1.3-Dosage des protéines

La concentration en protéines de l'extrait est déterminée selon la méthode de BRADFORD *et al.* (1976).

II.3.3.1.3.1.- Principe

Cette méthode est rapide, simple et sensible (SHEN, 2019). La méthode de BRADFORD est basée sur la formation d'un complexe entre le réactif de Coomassie lorsqu'il réagit avec les acides aminés hydrophobes présents dans les protéines et les acides aminés basiques (arginine, histidine, lysine), dont l'absorbance peut être mesurée à 595 nm (LE ROUX, 2012).

II.3.3.1.3.2.- Mode opératoire

Deux cent (200) µl de l'étalon ou de l'échantillon et 2 ml de réactif de bleu Coomassie sont placés dans un tube à essai en verre et agités pendant 30 secondes. Après 2 min de réaction

et avant une heure, l'absorbance est mesurée à 595 nm par un spectrophotomètre de type UV visible BRADFORD *et al.* (1976).

II.3.3.1.4- Dosage de polyphénols

Le dosage de polyphénols est réalisé suivant la méthode de Folin Ciocalteu décrit par SINGLETON et ROSSI (1965).

II.3.3.1.4.1- Principe

La réduction du réactif de Folin Ciocalteu entraîne une diminution de ses propriétés colorimétriques. L'acide gallique est utilisé comme standard d'étalonnage (SLAVOV *et al.*, 2017). Le Folin Ciocalteu, formé d'acide phosphotungstique $H_3PW_{12}O_{40}$ et d'acide phosphomolybdique $H_3PMo_{12}O_{40}$, oxyde des composés polyphénoliques présents dans l'échantillon. Les produits de réduction de couleur bleue représentent un maximum d'absorption dont l'intensité de la couleur est proportionnelle aux taux des composés phénoliques oxydés. La mesure de l'absorbance est effectuée à 765nm par un spectrophotomètre (BOIZOT et CHARPENTIER, 2006).

II.3.3.1.4.2- Mode opératoire

Dans des tubes à hémolyse en verre, il est ajouté un volume de 200 μ l de l'extrait ou d'étalon, 1ml de réactif Folin-Ciocalteu dilué 10 fois, et 800 μ l d'une solution de carbonate de sodium à 7.5%. Les tubes sont agités et conservés pendant 30min. L'absorbance est lue à 765 nm. Une courbe d'étalonnage est réalisée en parallèle dans les mêmes conditions opératoires en utilisant l'acide gallique à différentes concentrations (SINGLETON, ROSSI., 1965; BOUGANDOURA, 2012; ALI-RACHEDI *et al.*, 2018; SAFFIDINE, 2018).

II.3.4.- Spectroscopie infrarouge à transformée de Fourier (FTIR)

La spectroscopie infrarouge est une méthode d'analyse physique rapide, simple à mettre en œuvre et qui nécessite peu d'échantillon. Certains groupements, considérés comme marqueurs, peuvent révéler la présence de certaines catégories de polysaccharides ou d'autres molécules associées (composés phénoliques, protéines). Les profils des spectres IR ainsi que les intensités relatives des bandes d'absorption obtenues lors de l'analyse des polysaccharides de même structure sont similaires. (CHOUANA, 2017)

II.3.4.1.- Principe

L'infrarouge est une méthode très utilisée pour la caractérisation et l'identification des composés ou de leurs groupements fonctionnels (liaisons chimiques) dans un mélange d'extraits. L'identification des liaisons se fait à l'aide du nombre d'onde correspondant et la détermination de groupe caractéristique par un spectre d'un composé inconnu qui sera identifié par comparaison à des composés connus (PARISA *et al.*, 2019).

II.3.4.2.- Mode opératoire

Les spectres infrarouges à transformée de Fourier de la poudre de polysaccharide issu des feuilles de *Plantago albicans* (2 mg) sont obtenus à partir de FT-IR (Nicolet iS5, Thermo Fisher Scientific) dans la gamme spectrale de 400–4000 cm^{-1} . Le spectre est retenu après un lissage et une correction de la ligne de base à l'aide du logiciel Origin Pro8 (TEDJANI *et al.*, 2023).

II.3.5.- Activités biologiques des polysaccharides

Il est noté les différents tests évaluatifs des activités antioxydantes.

II.3.5.1.- Activité antioxydante

Le potentiel antioxydant des polysaccharides est évalué en utilisant plusieurs méthodes. Trois les dosages sont effectués en triple et la valeur de la moyenne est calculée. L'acide ascorbique est utilisé comme référence.

II.3.5.1.1.- Réduction du radical 1,1'-diphényl-2-picrylhydrazyle (DPPH)

Le dosage de la réduction des radicaux DPPH est parmi les méthodes les plus fréquemment utilisées et offre la première approche pour l'évaluation de l'activité antioxydante d'une molécule (SHAHIDI et ZHONG, 2015).

II.3.5.1.1.1.- Principe

La méthode de piégeage du radical libre DPPH est largement utilisée pour évaluer le pouvoir antioxydant des extraits végétaux. Les antioxydants réduisent le radical DPPH par un atome d'hydrogène qui vient se fixer sur le radical (2,2-diphényl-1-picrylhydrazyle) ayant une couleur violette en un composé jaune (2,2-diphényl-1-picrylhydrazine). Dans cette technique, l'effet antioxydant peut être facilement évalué en suivant la diminution de l'absorption de DPPH

à 517 nm (BRAND-WILLIAMS *et al.*, 1995; TALBI *et al.*, 2015; GUILLOUTY, 2016; MUSA *et al.*, 2016; KRIMAT *et al.*, 2017).

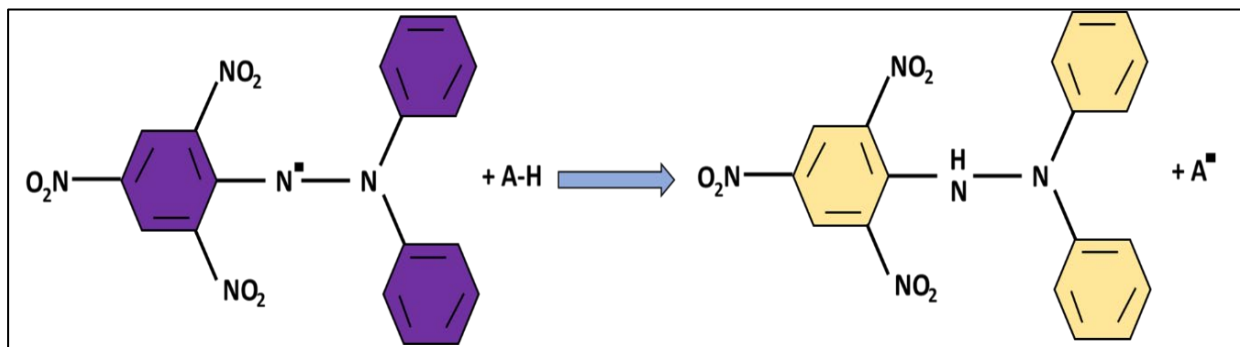


Figure 15.- Réduction du radical DPPH en DPPHH (TALBI *et al.*, 2015; SIRIVIBULKOVIT *et al.*, 2018)

II.3.5.1.1.2.- Mode opératoire

Le même volume de 1ml d'échantillon et de 0.1 mM de solution DPPH sont mélangés et incubés à température ambiante dans l'obscurité pendant 30 min. L'absorbance est mesurée à 517 nm. Dans ce test, l'acide ascorbique est utilisé comme composé standard (JAFRI *et al.*, 2017). Le pourcentage d'inhibition est calculé par l'équation suivante (GHERAISSA, 2022) :

$$\text{Pourcentage d'inhibition} = A_0 - A_1 / A_0 \times 100$$

- A_0 : Absorbance de contrôle.
- A_1 : Absorbance d'un test ou d'un échantillon standard.

La concentration d'extrait / control pour une inhibition de 50% (IC50) est déterminée en traçant le pourcentage d'inhibition par rapport à la concentration (TUKAPPA *et al.*, 2015).

II.3.5.1.2.- Puissance de l'activité de la réduction ferrique (FRAP)

La réduction du fer des extraits est déterminée selon la méthode d'OYAIZU (1986). Le dosage du Ferric reducing antioxydant power (FRAP), est un procédé typique basé sur le transfert d'électrons qui mesure la réduction du complexe de l'ion ferrique (Fe^{3+}) en complexe de l'ion ferreux (Fe^{2+}) coloré en bleu intense par des antioxydants dans des milieux acides (SHAHIDI et ZHONG, 2015).

II.3.5.1.2.1.- Principe

La méthode FRAP est basée sur la réduction de l'ion ferrique (Fe^{3+}) en ion ferreux (Fe^{2+}). Cette méthode évalue le pouvoir réducteur des composés (FERNANDES *et al.*, 2014). La présence des réducteurs (AH) dans les extraits des plantes provoquent la réduction de complexe ferricyanide (Fe^{3+}) à la forme ferreuse. La réaction est révélée par le virement de la couleur jaune du fer ferrique (Fe^{3+}) à la couleur bleu-vert du fer ferreux (Fe^{2+}) dans le milieu réactionnel (BOUTLELIS, 2014; KADIA *et al.*, 2022). L'absorbance est mesurée à 700 nm (CHAN *et al.*, 2007).

II.3.5.1.2.2.- Mode opératoire

Cinq cent (500) μl de l'extrait avec différentes concentrations (1, 1.5, 2, 2.5 et 5 mg/l), 1.25 ml de tampon phosphate 0.2 M (pH 6.6) et 1.25 ml de solution de potassium ferricyanure (1%) sont mélangés et incubé à 50°C au bain-marie pendant 20 min. Le mélange incubé est laissé à refroidir à température ambiante. Ensuite, 1.25 ml d'acide trichloroacétique TCA (10%) sont ajoutés. La solution est centrifugée à 3000 rpm pendant 10 min où un volume de 1,25 ml est retiré et 1,25 ml d'eau distillé suivie de 0.25 ml de solution de Chlorure ferrique FeCl_3 (0.1%) sont ajoutés de sorte que le volume final était de 2.75 ml. L'absorbance de la solution résultante est mesurée après 2 min à 700 nm contre un blanc semblablement préparé, en remplaçant l'extrait par de l'eau distillée qui permet de calibrer l'appareil (UV VIS spectrophotomètre). Une augmentation de l'absorbance correspond à une augmentation du pouvoir réducteur des extraits testés (BOUGANDOURA et BENDIMERAD., 2012; GHERAISSA, 2022). L'EC50 est définie comme la concentration efficace de l'extrait qui fournit une absorbance de 0.5 à 700 nm (GHERAISSA, 2022).

II.3.5.1.3.- Test anti hémolyse

Le test d'hémolyse sert à déterminer la protection des cellules sanguines des érythrocytes contre l'explosion, après exposition au stress oxydatif. Le taux d'hémolyse est obtenu par mesure de la concentration d'hémoglobine sérique libérée (REMIGANTE *et al.*, 2022).

II.3.5.1.3.1.- Principe

Le but de ce test est la mesure de la capacité protectrice des extraits des globules rouges, après exposition aux substances oxydantes et aux radicaux libres, en mesurant la proportion des érythrocytes humains dissous (LIPPI *et al.*, 2006). La lyse de cellule sanguine est induite par des

générateurs de radicaux libres qui perturbent la membrane plasmique (peroxyde d'hydrogène H₂O₂, trichlorure de FerFeCl₃, acide ascorbique (CHOUIKH, 2015).

II.3.5.1.3.2.- Mode opératoire

L'activité anti-hémolytique de l'extrait est déterminée en appliquant les étapes décrites par AFSAR *et al.* (2016), avec quelques ajouts. L'extrait (2 ml) est incubé pendant 5 min à 37°C avec 40µl de suspension à 10% de globules rouges humains (RBC). Après incubation, 40µL de H₂O₂ (30µM), 40µL de FeCl₃ (80mM) et 40µL d'acide ascorbique (50mM) sont respectivement ajoutés et le mélange est incubé pendant 1 h à 37°C. Ensuite, le mélange est centrifugé à 700 tr/min, pendant 5 min. L'absorbance est lue à 540 nm (GHERAISSA, 2022).

Le pourcentage d'hémolyse est calculé selon l'équation suivante (GHERAISSA, 2022) :

$$\% \text{Hémolyse} = [\text{Abs contrôle} / \text{Abs échantillon}] * 100$$

- **Abs contrôle** : Absorbance en absence de l'extrait.
- **Abs échantillon** : Absorbance en présence de l'extrait.

EC50 est une valeur qui représente la concentration à laquelle 50 % des globules rouges sont lysés (GHERAISSA, 2022).

II.4 Analyses statistique

Les résultats sont présentés par la suite bureautique Excel de Microsoft. L'analyse statistique des données est réalisée par XLSTAT (Version 2016.02.28451). Les résultats sont représentés sous forme des moyennes ± écart-types (M ± SEM). La normalité des données est déterminée par le test Lilliefors. Ensuite, la signification des résultats est obtenue par le test paramétrique d'ANOVA suivi par Tukey (HSD). Les niveaux de signification sont considérées comme significatives (*) si $P \leq 0.05$, hautement significative (**) si $P \leq 0.01$, et très hautement significative (***) si $P \leq 0.001$.

CHAPITRE III

Résultats et discussion

Le présent chapitre porte sur les résultats obtenus à partir des analyses physico-chimiques et biochimiques, et des activités biologiques testées de l'extrait brut de polysaccharides hydrosolubles issus des feuilles de *Plantago albicans* L. (PA).

III.1.- Rendement d'extraction

L'extrait obtenu après prétraitement, macération, précipitation et lavage par l'acétone est séché et pesé pour déterminer le rendement massique. Ce rendement relatif est calculé par rapport au poids de matière sèche ayant servi à l'extraction (WANG *et al.*, 2018).

Il apparaît que le rendement massique de l'extrait des polysaccharides hydrosolubles des feuilles de *Plantago albicans* L. par rapport à la matière sèche est de 4.318 %. Ce rendement est proche de celui de BENAOUN *et al.*, (2017) qui a obtenu un rendement d'extraction polysaccharidique de 4.66 % à partir de graines de *Plantago notata* et supérieur à celui des feuilles de *plantago lanceolata* L. à 0.64 % notés par LAUKOVA *et al.* (2017), et des feuilles de *plantago major* L. à 1.92% signé par LAUKOVA *et al.* (2020), et des feuilles de *plantago notata* à 3.4 % observé par BENAOUN, (2017). Cette valeur est inférieure à celle rapportée par ZHAO *et al.* (2014) qui ont obtenu des polysaccharides bruts des graines de *Plantago depressa* avec un rendement de 12.46 % et à celle notée par ADDOUN, (2021) qui ont remarqué un rendement final de 18.6 % à partir de graines séchées de *Plantago ciliata*. Ainsi, KUMAR *et al.* (2018) signalent un rendement de polysaccharides issu des feuilles de *Plantago ovata* Forssk de 15%, tandis que PATEL *et al.* (2019) ont obtenu des rendements en polysaccharides bruts des graines et des enveloppes de *Plantago ovata* Forssk respectivement de 47.72 % et 64.55 %.

D'après les résultats notés, l'hétérogénéité des rendements d'extraction est due aux plantes concernées et aux parties analysées en plus au protocole d'extraction utilisé comme l'extraction de l'eau chaude, assistée par ultrasons, assistée par enzyme (SHANG *et al.*, 2019) et le degré de pureté et le volume d'alcool utilisé dans la précipitation (EBRINGEROVA *et al.*, 2003).

Le rendement massique d'un polysaccharide dépend de la méthodologie d'extraction et des différents paramètres physico-chimiques. Par ailleurs, le rapport de l'eau à la matière première agit sur le rendement massique de polysaccharides hydrosolubles dont si le rapport est faible, les polysaccharides dans la matière première ne peuvent pas être extraits complètement. Par contre, si le rapport est élevé, le rendement augmente (WANG *et al.*, 2016a). De plus, il est signalé que la température d'extraction est également une variable importante qui influence sur le

rendement d'extraction, en plus de la durée, le rapport liquide/solide et le pH de la solution (MIAO *et al.*, 2011 ; ZEITOUN, 2011 ; HAN *et al.*, 2016 ; BENDER *et al.*, 2017; JING *et al.*, 2023). En outre, la nature et l'intensité des interactions macromolécules/solvant et macromolécules/macromolécules influencent fortement le rendement de l'extraction (CHOUANA, 2017). AKROUT *et al.* (2010) ont expliqué que le rendement varie selon le type d'espèce investiguée. Pour une même espèce, il varie considérablement avec l'emplacement, la séparation géographique et la saison de récolte.

Tableau 01.- Caractéristiques de l'extrait polysaccharidique des feuilles de *Plantago albicans* L.

Caractéristiques	Poids(g)	Aspect	Couleur	Rendement (%)	Solubilité
Extrait polysaccharidique	0.863	Poudre	Blanc	4.318 %	Eau distillé

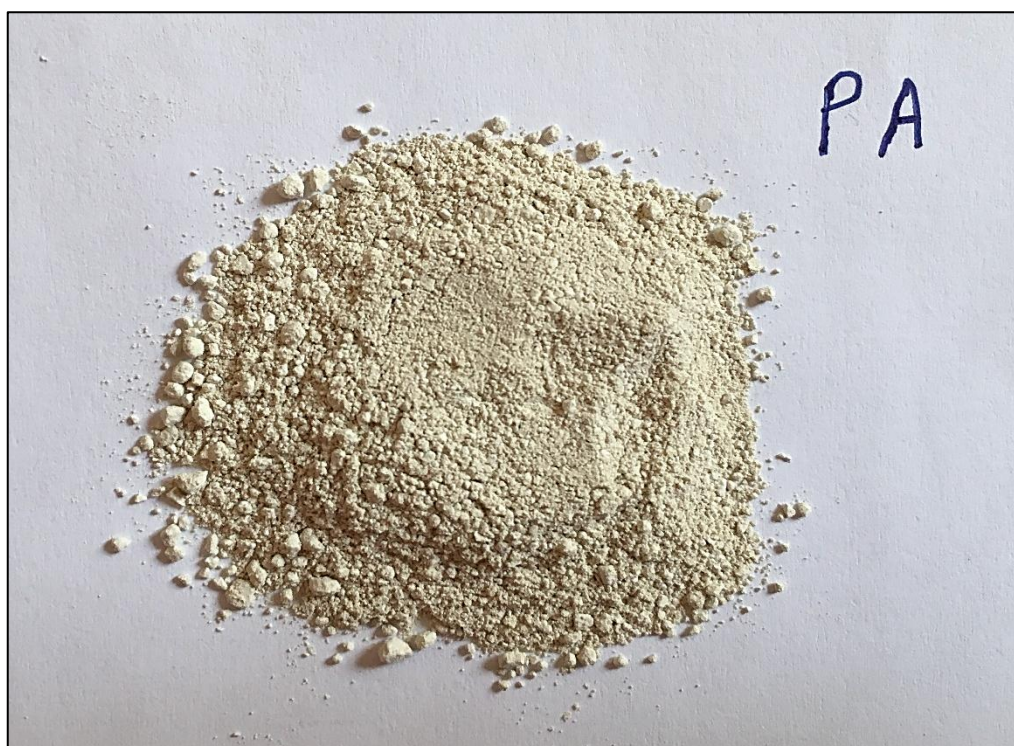


Photo 02.-Extrait brut des polysaccharides hydrosolubles des feuilles de *Plantago albicans* L.

III.2.-Composition biochimique

La détermination de la composition de l'extrait polysaccharidique hydrosoluble issu des feuilles de *Plantago albicans* L., est effectuée par des dosages colorimétriques des oses totaux,

des oses neutres, des protéines et des polyphénols. Les résultats obtenus sont représentés dans la figure 16.

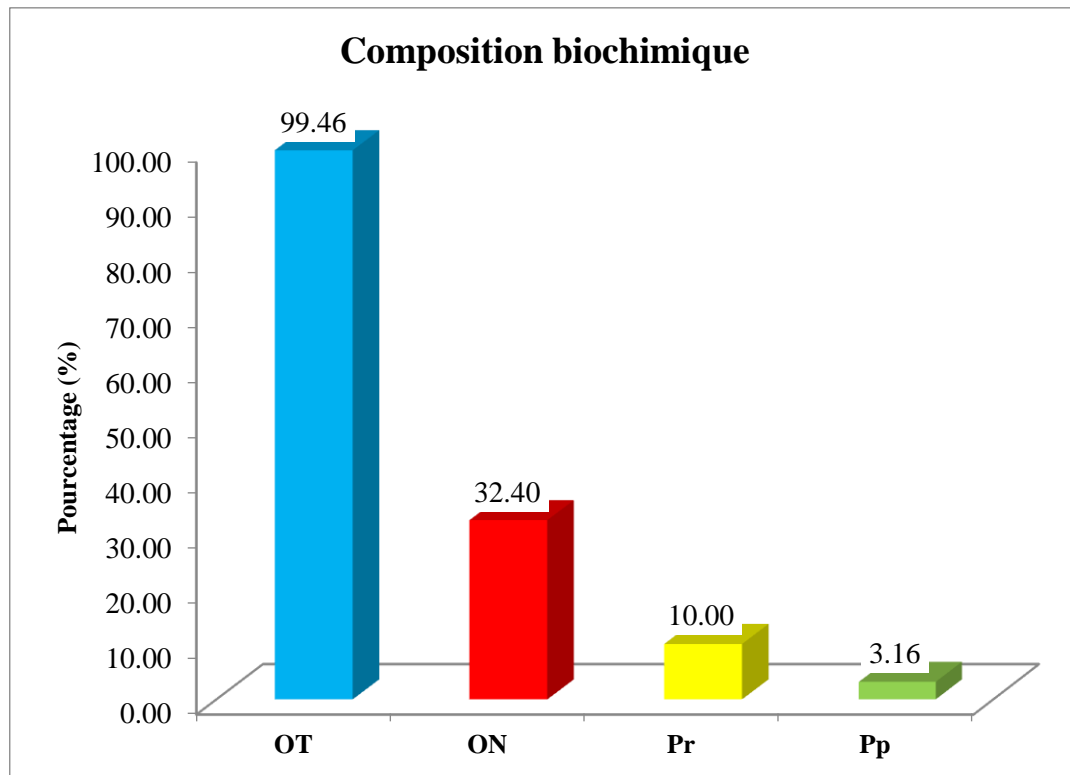


Figure 16.- Composition biochimique de l'extrait polysaccharidique brut PA

D'après les résultats obtenus, le polysaccharide hydrosoluble issu des feuilles de *Plantago albicans* L. est constitué de 99.46% d'oses totaux, de 32.40% d'oses neutres, et des faibles teneurs en protéines (10%) et en composés phénoliques (3.16%).

Selon ZHAO *et al.* (2014), quatre fractions polysaccharidiques PDSP-1, PDSP-2, PDSP-3 et PDSP-4 issus des graines de *Plantago depressa*, dont les teneurs en oses totaux des quatre fractions sont de 90.7%, 89.1 %, 93.1 % et 91.9 % respectivement. Les teneurs en oses totaux de PSF et PSFE sont indiquées à 20.1% 23.96% respectivement dans deux fractions hydrosolubles extraites à partir des feuilles *P. notata* (BENAOUN, 2017). ADDOUN (2021) signale une teneur en oses totaux de PSPC extrait des graines de *P. ciliata*, soit 86.5 ± 4.32 %. Un taux d'oses neutres de SPS (73.63 %) est noté par PATEL *et al.* (2019) pour un extrait de polysaccharides des graines de *psyllium* (*Plantago ovata* Forssk) extrait par la méthode d'extraction à l'eau chaude. Ces teneurs sont inférieures à celle obtenue pour la fraction isolée de *Plantago albicans* L. LUKOVA *et al.* (2020) distinguent des teneurs de $39.14 \% \pm 0.22$ d'oses neutres pour des polysaccharides (PWPS) issus des feuilles de *Plantago major* L. Ces teneurs sont supérieures à celle obtenue pour la fraction isolée de *Plantago albicans* L. HU *et al.* (2013) rapportent des

teneurs en protéines des polysaccharides graines de *Plantago asiatica* L. de 1.24 %. Selon BENAOUN (2017), un taux de protéines de PSF et PSFE sont 0.93% et 2.26 % respectivement dans deux fractions hydrosolubles extraites à partir des feuilles *P. notata*. Ces teneurs sont inférieures que celle marquée pour l'extrait polysaccharidique de *Plantago albicans* L. L'élimination des protéines peut être difficile, en particulier lorsque des protéines conjuguées sont présentes (TANG *et al.*, 2019).

L'utilisation de techniques de séparation des protéines peut entraîner la dégradation des polysaccharides et leur faire perdre leur structure d'origine, car la protéine glycoprotéique est liée de manière covalente au fragment polysaccharides (TEDJANI *et al.*, 2023). Ces contenus faibles en protéines peut s'expliquer par les méthodes d'analyse utilisées (WANG et ZHU, 2019) aussi l'influence de température des milieux d'extraction (YOUMBAI 2015; CHAKOU *et al.*, 2018), dont l'augmentation de la température réduit la teneur en protéines dans l'extrait. La différence des composants chimiques des polysaccharides hydrosolubles varie suivant diverses conditions telles que l'environnement climatique (températures élevées, exposition au soleil, sécheresse, salinité...), la localisation, l'origine géographique, la période de récolte (SÁENZ *et al.*, 2004).

Les teneurs en polyphénols de PSF et PSRE sont indiquées à 3.82% 3.46% respectivement dans deux fractions hydrosolubles extraites à partir des feuilles *P. notata* et des racines et de *U. noctiflora* respectivement BENAOUN, (2017). Ces teneurs sont proches de celles déterminées pour l'extrait polysaccharidique de *Plantago albicans* L. Il est remarqué l'absence de composés phénoliques dans une fraction polysaccharidique PSPC extrait des graines de *P. ciliata* (ADDOUN, 2021). Cette variation est due au prétraitement de dépigmentation réalisé sur feuilles broyées avant l'extraction. La présence de composés phénoliques pourrait être encore réduite par des traitements de dépigmentation beaucoup plus spécifiques (ZHAO *et al.*, 2014; CHOUANA, 2017). La différence de la composition biochimique des polysaccharides peut être liée à la variation des conditions abiotiques dans l'habitat de chaque espèce étudiée ce qui donne une spécificité en composition des polysaccharides pour chaque espèce végétale (YIN *et al.*, 2012).

III.3.- Analyse par infrarouge à transformée de Fourier (FTIR)

L'analyse FT-IR est un outil important pour obtenir des connaissances de première main et une identification préliminaire des biopolymères à partir de sources diversifiées (TEDJANI *et al.*, 2023). La figure 17 représente les spectres FT-IR de polysaccharide de PA dans la gamme de fréquences entre 400 cm^{-1} et 4000 cm^{-1} .

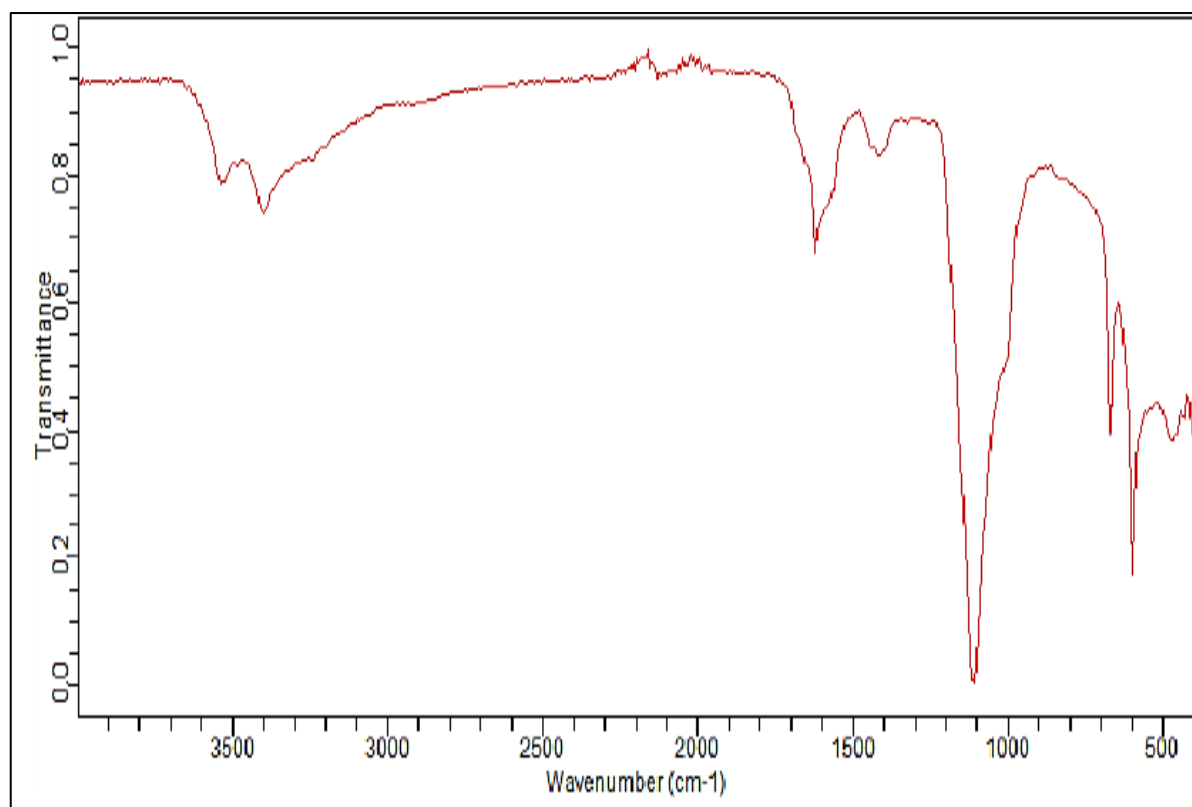


Figure 17.-Spectre infrarouge des polysaccharides issus des feuilles de *Plantago albicans* L. (PA)

A partir du spectre IR des polysaccharides, la transmittance a culminé à 600 cm^{-1} ce qui met en évidence la présence des vibrations CH de flexion hors plan. De plus, le pic à 635 cm^{-1} de forme coude correspond à la liaison OH (associé) hors plan, tandis que celui à 1110 cm^{-1} note les liaisons du cycle $\nu(\text{CO})$, $\nu(\text{CC})$ (polysaccharides, cellulose) (MOVASAGHI *et al.*, 2008). De même, les pics à 1400 cm^{-1} et à $1416,98\text{ cm}^{-1}$ sont attribuées aux groupements carboxylate ($-\text{COO}^-$) (ADDOUN, 2021) et des acides aminés $\delta_s\text{CH}_3$, aux modes de flexion symétriques des groupes méthyle dans les protéines squelettiques (MOVASAGHI *et al.*, 2008). La bande située à $1617,54\text{ cm}^{-1}$ correspond plus spécifiquement à la vibration d'élongation de la fonction C=O des groupements COOH (ADDOUN, 2021). Le pic à 3396 cm^{-1} correspond à l'étirement O-H asymétrique et tandis que celui à 3524 cm^{-1} est attribué à l'étirement O-H symétrique (MOVASAGHI *et al.*, 2008).

III.4.- Activités biologiques de l'extrait polysaccharidique

Les potentialités biologiques de PA sont évaluées par des tests *in vitro*, dont la réduction de DPPH, de FRAP, et l'activité anti-hémolytique.

III.4.1.- Réduction du radical 1,1'-diphényl-2-picrylhydrazyle (DPPH)

Les espèces réactives de l'oxygène (ERO) et les radicaux libres sont produits en continu au cours du métabolisme. Ces radicaux libres sont, lorsque les systèmes de défense antioxydants sont insuffisants, à l'origine d'un état de stress oxydatif conduisant à diverses maladies dégénératives. En conséquence, l'utilisation de composés antioxydants naturels peut prévenir les troubles du stress oxydatif (BENAOUN *et al.*, 2017). Les radicaux libres sont des substances qui ont des électrons non appariés dans leur structure et se produisent largement dans la nature. En raison de leur instabilité, les radicaux libres peuvent causer des problèmes de santé nocifs induisant des dommages aux cellules et altérant l'ADN, les protéines et les membranes lipidiques, ce qui peut entraîner plusieurs maladies telles que le cancer, l'athérosclérose et le vieillissement (HAN *et al.*, 2016). Pour réduire les dommages causés par l'oxydation, de nombreuses recherches sont consacrées à l'utilisation d'antioxydants (ZHANG *et al.*, 2019). Plusieurs travaux ont mis en évidence que les polysaccharides isolés à partir de plantes présentent également des propriétés antioxydantes importantes (GETACHEW et CHUN, 2017).

Le DPPH ou 1,1'-diphényl-2-picrylhydrazyle est un radical stable qui peut être utilisé pour évaluer le pouvoir de réduction des radicaux libres par des antioxydants. En effet, le DPPH absorbe à 517 nm et cette absorbance diminuera proportionnellement à la présence de substances oxydantes (HAN *et al.*, 2016). Il est mesuré les activités de piégeage des radicaux DPPH de l'extrait *Plantago albicans* L. et comparée à l'activité de composé anti-radicalaire vitamine C comme référence avec un phénomène de changement de couleur de la solution du violet au jaune clair (MANU *et al.*, 2013). Les antioxydants transfèrent soit un électron, soit un atome d'hydrogène vers le radical DPPH en neutralisant son caractère radicalaire (YIN *et al.*, 2010). La capacité de balayage peut être exprimé par le taux d'inhibition, plus le taux d'inhibition est élevé, plus l'activité antioxydante est fort (CHEN *et al.*, 2018). Les résultats obtenus sont représentés dans la figure 18.

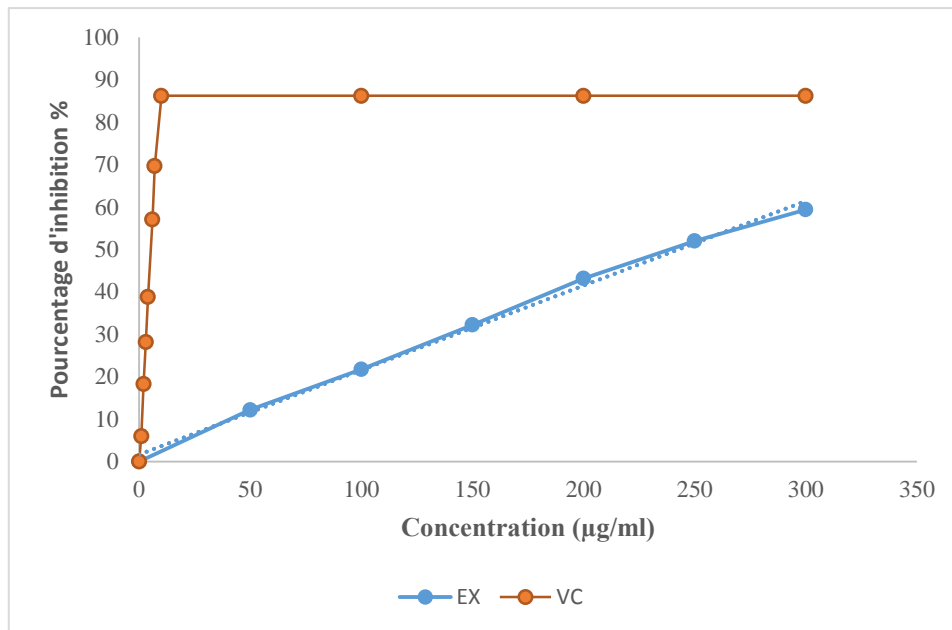


Figure 18.- Pourcentage d'inhibition des radicaux DPPH par PA et vitamine C

A partir des équations linéaires, on peut calculer les IC₅₀ en µg/ml qui définit la concentration efficace du substrat qui cause la réduction de 50% du radical DPPH.

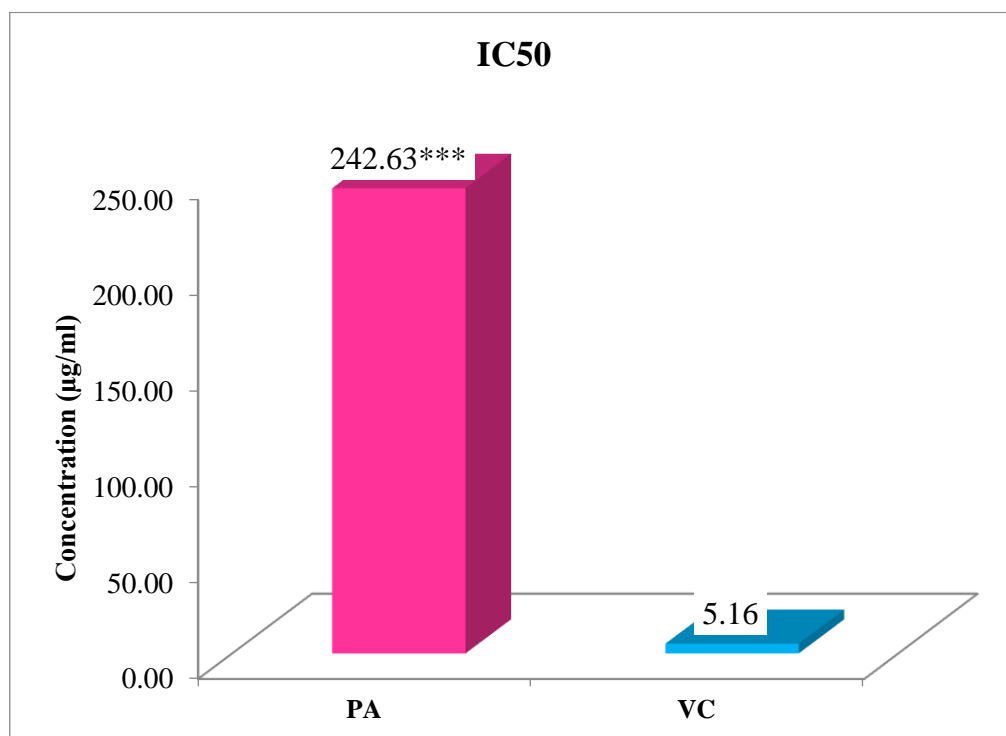


Figure 19.- Concentrations inhibitrices à 50% des radicaux DPPH de PA et de vitamine C

*** : ($p < 0.001$ très hautement significative)

Les résultats obtenus (fig.19) révèlent que la vitamine C a une activité anti-radicalaire puissante avec une IC50 de l'ordre de 5.16 µg/ml., tandis celle de l'extrait polysaccharidique PA est faible, soit 242.63 µg/ml. Ainsi, la fraction PA possède une activité antioxydante moins proche que celle de l'acide ascorbique (la vitamine C) qui est considérée comme un antioxydant puissant. L'analyse statistique par le test ANOVA pour d'inhibition des radicaux DPPH montre qu'il y a une différence très hautement significative ($p < 0.001$).

BENAOUN *et al.* (2017) signalent les extraits polysaccharidiques de feuilles (PSF), de graines (PSPNE) et d'épis (PSP) de *P. notata*, présentent des concentrations inhibitrices (IC50) de 100, 410 et 480 µg/ml respectivement. De plus, les activités antioxydantes des polysaccharides isolés des feuilles de *Plantago major* L. avec différentes méthodes d'extraction sont comparées. Les résultats indiquent que les polysaccharides extractibles à l'eau présentaient une capacité de piégeage des radicaux plus forte (29.39 % à 40.08 %) que les polysaccharides totaux extractibles à l'acide (19.44 % à 24.15 %) (ZHANG *et al.*, 2019b). Aussi Les polysaccharides extrait des feuilles de *psyllium* s'est avéré posséder une activité antioxydante naturelle (ZHANG *et al.*, 2021).

Il est rapporté que de nombreux facteurs influent sur l'activité antioxydante des polysaccharides, y compris leurs structures, leurs composants en monosaccharides, leurs poids moléculaires et leurs conformations des chaînes. De ce fait, en raison de diverses caractéristiques structurales, les polysaccharides de divers origines présentent une activité antioxydante différente (MEHELLOU, 2015; LI *et al.*, 2017; LONG *et al.*, 2017). Plusieurs études ont signalé que les polysaccharides, ayant une faible teneur en oses neutre et à une teneur élevée en protéines, avaient une meilleure activité de piégeage des radicaux hydroxyles (MENG *et al.*, 2015). De plus, les polysaccharides extraits ou isolés par des méthodes différentes ont des activités antioxydantes différentes du fait de la différence dans la composition chimique, la masse moléculaire, la structure, ou la conformation (CHEN *et al.*, 2008; ZHANG *et al.*, 2015; ZHANG *et al.*, 2023). En règle générale, les propriétés anti radicalaires contre le DPPH des antioxydants naturels tels que les polysaccharides peuvent être corrélées à leur capacité de donner d'hydrogène (DELATTRE *et al.*, 2015; HU *et al.*, 2016a).

III.4.2.- Puissance de l'activité de la réduction ferrique (FRAP)

Le test de FRAP, appelé également « capacité antioxydante totale », est couramment utilisé pour l'analyse de l'activité antioxydante totale des extraits de plantes (SU et LI, 2020). La puissance de réduction est souvent utilisée comme indicateur de don d'électron qui est un

mécanisme important pour déterminer l'activité antioxydante des composés naturels tels que les polysaccharides. La présence de réducteurs comme les antioxydants dans l'échantillon testé réduira le Fe^{3+} , donc la capacité de la réduction de l'antioxydant est un indicateur de son activité antioxydante ($Fe^{2+} + H_2O_2 \rightarrow Fe^{3+} + HO^- + \cdot OH$). La couleur jaune de l'échantillon due à la concentration de l'extrait est changée en un halo différent de vert et de bleu (ESMAEILZADEH KENARI *et al.*, 2014; PETRA, 2016; SOLOWIEJ *et al.*, 2023). Le mécanisme de réduction consiste à décomposer la chaîne des radicaux libres et à donner des atomes d'hydrogène, ce qui dépend de l'activité antioxydante du réducteur (JAMUNA *et al.*, 2010). Les résultats obtenus sont représentés dans la figure 20 et 21.

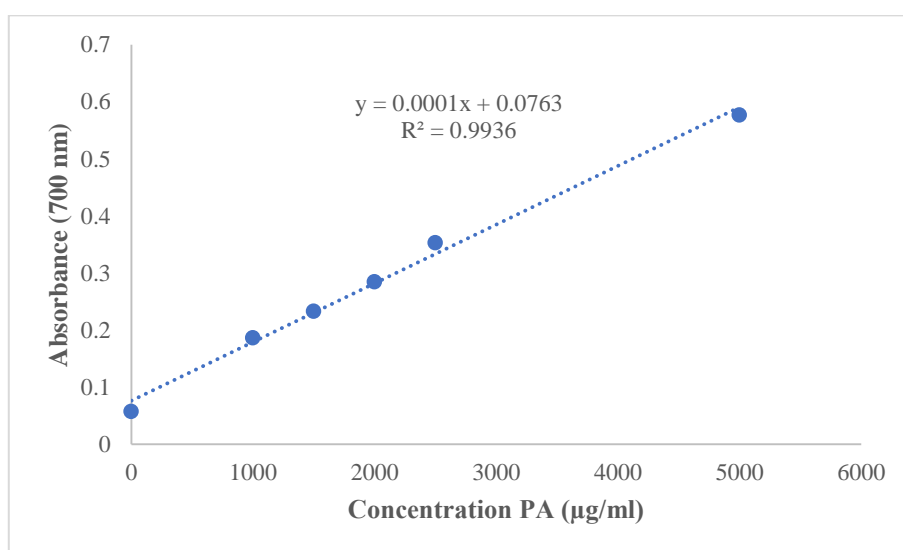


Figure 20.- Courbe d'étalonnage de l'activité FRAP de l'extrait PA issu de *Plantago albicans* L.

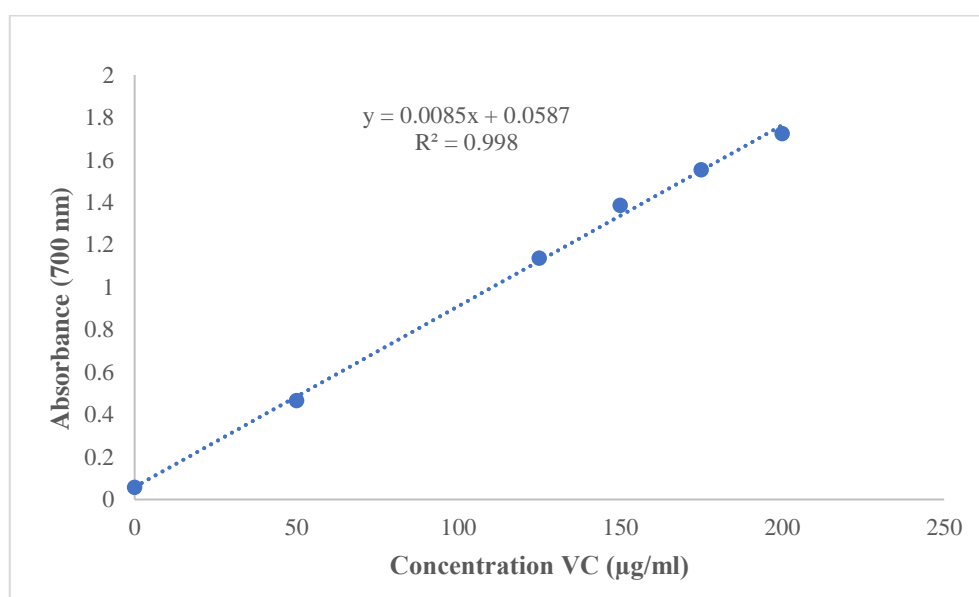


Figure 21.- Courbe d'étalonnage de l'activité FRAP de la vitamine C

A partir des équations linéaires, il est calculé les EC50 en $\mu\text{g/ml}$ qui sont définis par la concentration efficace qui cause la réduction de 50% des ions ferriques en ions ferreux.

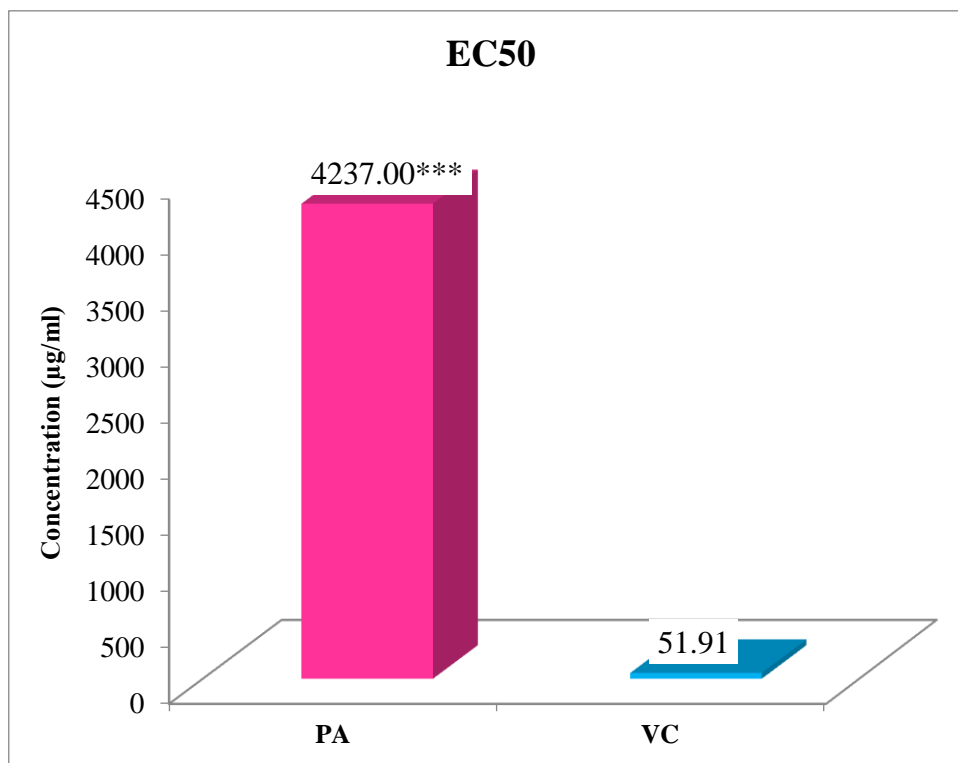


Figure 22.- Concentrations effectrices à 50% de l'extrait PA et de vitamine C de l'activité FRAP

*** : ($p < 0.001$ très hautement significative)

D'après les résultats obtenus (figure 22), le pouvoir antioxydant de l'extrait polysaccharidique hydrosoluble PA pour la réduction de Fe^{3+} en Fe^{2+} est marqué à une concentration EC50 de $4237.00\mu\text{g/ml}$. Cependant, la vitamine C (utilisé comme témoin) noté un pouvoir réducteur important, soit une concentration EC50 de $51.91\mu\text{g/ml}$. De plus, il est indiqué que la capacité de réduction de fer est proportionnelle à l'augmentation de la concentration de l'extrait PA et de la vitamine C. L'analyse statistique par le test ANOVA laisse observée une différence très hautement significative ($p < 0.001$), ce qui implique un faible pouvoir réducteur de l'extrait PA.

LAUKOVA *et al.* (2017) signalent des polysaccharides hydrosolubles pour *Plantago major* L., *Plantago lanceolata* L. avec une activité antioxydante faible, dont des taux de pouvoir réducteur ferrique de 103,71 et de 137,83 $\mu\text{M TE/5 mg Ps}$ respectivement. De telles différences peuvent être attribuées à aux groupes sulfoniques associés aux polysaccharides, capables de terminer la réaction de la chaîne radicalaire en donnant des atomes d'hydrogène (JIANG *et al.*, 2022).

III.4.3.- Activité anti-hémolytique

Les cellules les plus abondantes dans le corps humain sont les érythrocytes, qui possèdent de nombreuses caractéristiques biologiques et morphologiques. Elles sont largement exploitées dans le transport de médicaments. La mutilation oxydative des lipides et des protéines membranaires des érythrocytes peut être responsable de l'hémolyse accompagnée de plusieurs facteurs, à savoir hémoglobinopathies, médicaments oxydatifs, excès de métaux de transition, radiations diverses et déficiences de la coordination antioxydante érythrocytaire (EBRAHIMZADEH *et al.*, 2009).

Les érythrocytes constituent un modèle cellulaire très adéquat pour l'étude du stress oxydant. En raison de la richesse de leurs membranes en acides gras polyinsaturés et la concentration cellulaire élevée en oxygène et en hémoglobine, ces cellules sont extrêmement susceptibles aux endommagements oxydatifs (ARBOS *et al.*, 2008; ÇIMEN, 2008). L'exposition des érythrocytes à une attaque radicalaire conduit donc à la rupture de leurs membranes plasmiques avec libération du contenu cellulaire mesurable à 540 nm. L'ampleur de l'hémolyse semblait être beaucoup plus écrasante lorsque les globules rouges étaient exposés à une substance toxique telle que le peroxyde d'hydrogène. Cette expérience visait à évaluer si un échantillon empêchait ou non les dommages oxydatifs de la membrane érythrocytaire (AFSAR *et al.*, 2016). L'activité antioxydante est déterminée par le pourcentage d'hémolyse en présence de l'extrait PA et de la vitamine C comme référence standard. Les résultats obtenus sont représentés dans la figure 23.

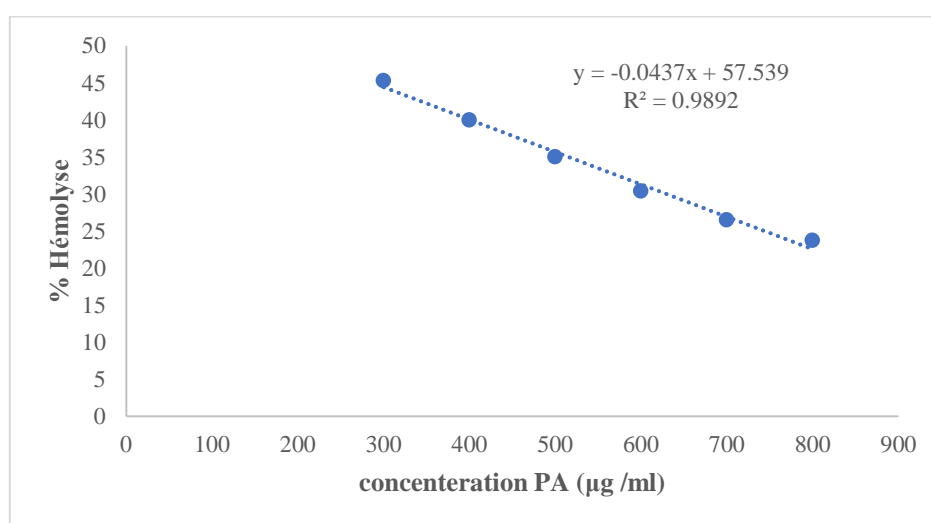


Figure 23.- Pourcentage d'hémolyse en présence de l'extrait polysaccharidique PA issu de *Plantago albicans* L.

A partir des équations linéaires, il est calculé les EC50 en $\mu\text{g/ml}$ qui sont définis par la concentration efficace qui cause la protection de 50 % érythrocytes contre l'hémolyse.

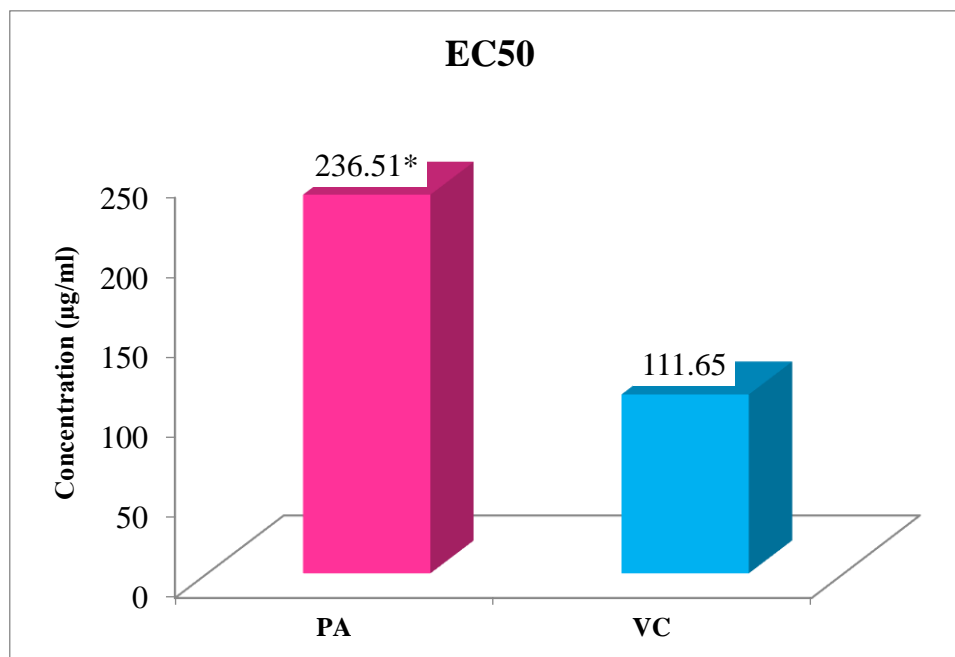


Figure 24.- Concentrations effectrices à 50% de l'extrait PA et de la vitamine C contre l'hémolyse

* : ($p < 0.05$ Significantive)

A travers les résultats indiqués sur la figure 24, l'extrait polysaccharidique PA s'est présenté efficace pour protéger les érythrocytes de l'hémolyse par les agents oxydants comme température et radical H_2O_2 . A une concentration de $236.51\mu\text{g/ml}$, il était capable de protéger 50% des érythrocytes. Toutefois, la vitamine C (utilisée comme témoin) laisse marquée une concentration EC50 de $111.65\mu\text{g/ml}$. La vitamine C est l'un des composés approuvés pour la protection contre les dommages oxydatifs (KOCABAS *et al.*, 2022). L'analyse statistique par le test ANOVA note qu'il y a une différence significative de l'activité anti-hémolytique de l'extrait PA et de la vitamine C ($p < 0.05$).

Il existe trois mécanismes possibles utilisés par les polysaccharides pour protéger les cellules sanguines, dont en inhibant directement le radical hydroxyle, en réduisant les ions Fe^{3+} en Fe^{2+} (arrêt de la production de radicaux hydroxyle) où le peroxyde d'hydrogène (H_2O_2) provoque la dégradation de l'hème lorsqu'il est en contact avec l'hémoglobine par la libération d'ions Fe^{2+} (OKOKO et ERE, 2012; GHERAISSA, 2022), ou en diminuant la capacité de réduction H_2O_2 à OH^{\bullet} (GHERAISSA, 2022).

CONCLUSION ET PERSPECTIVES

Conclusion

Les plantes médicinales restent toujours la source fiable des principes actifs connus par leurs propriétés thérapeutiques. Le présent travail est dirigé vers la mise en évidence de propriété antioxydante de *Plantago albicans* L. de la famille des Plantaginaceae qui est utilisée en médecine traditionnelle dans la région d'El Oued pour ses propriétés thérapeutiques. Le présent travail porte sur l'étude des activités biologiques des polysaccharides hydrosolubles issus des feuilles de *P. albicans* L.

L'extraction des polysaccharides hydrosolubles des feuilles de *P. albicans* L. laisse notée une fraction PA à un rendement massique de 4.318%. L'analyse des compositions de la fraction PA est réalisée par différentes méthodes des dosages colorimétriques. D'après les résultats, l'extrait polysaccharidique contient de 99.46 % d'oses totaux, de 32.40 % d'oses neutres, en plus des faibles teneurs en protéines (10 %) et de composés phénoliques (3.16 %). L'analyse par spectroscopie IR a permis de déterminer la présence des fonctions biochimiques caractéristiques des molécules polysaccharidiques.

Sachant que les antioxydants contribuent de manière très efficace à la prévention des maladies, ces activités antioxydantes sont évaluées par diverses méthodes. En effet, le test de piégeage de radical libre DPPH laisse noter une IC₅₀ de 242.63 µg/ml. De plus, le test de la réduction ferrique (FRAP) indique une EC₅₀ de 4237 µg/ml. De même, le test d'hémolyse signale que l'extrait peut protéger les érythrocytes par une EC₅₀ de 236.51 µg/ml. Ainsi, les effets antioxydants des feuilles de *P. albicans* L. peuvent être attribués aux autres types de polysaccharides issus des méthodes d'extraction différentes. De plus, les effets thérapeutiques des polysaccharides hydrosolubles de *P. albicans* L. peuvent être présentés par des activités biologiques évaluées par des différents tests, soit *in vitro* ou *in vivo*.

Perspectives

Il est préférable d'optimiser les différentes conditions nécessaires à l'extraction des polysaccharides, à savoir la température et le temps d'extraction pour augmenter le rendement et pour préserver l'activité biologique par la protection de la structure native.

Afin de déterminer la composition en oses constitutifs et la caractérisation structurale de l'extrait polysaccharidique obtenu, Il faut utiliser des méthodes avancées tel que la chromatographie en phase liquide à haute performance (HPLC) et la chromatographie en phase gazeuse couplée à la spectrométrie de masse (GC-SM). De même, la résonance magnétique nucléaire (RMN) est recommandée pour établir une relation structure fonction entre l'extrait polysaccharidique et les activités signalées.

D'autres études approfondies sont prévues pour comprendre les activités observées des polysaccharides obtenus. Malgré les recherches avancées sur les polysaccharides, les études restent encore très peu en comparant leurs grands nombres. Il sera donc intéressant d'identifier et de caractériser de nouvelles activités biologiques des polysaccharides surtout ceux d'origines des plantes, afin d'augmenter l'utilisation des remèdes naturelles dans les domaines médicaux et alimentaires.

REFERENCES

- 1- ADDOUN, N. (2021). Caractérisation, comportement rhéologique et activités biologiques de polysaccharide hydrosoluble issu des graines de *Plantago ciliata* Desf. Récoltées dans la région de Ghardaïa (Sahara Septentrional Est Algérien) thèse Doctoral dissertation, Université Kasdi Merbah (Ouargla) 165 p.
- 2- ABATE, L., BACHHETI, R. K., TADESSE, M. G., & BACHHETI, A. (2022). Ethnobotanical Uses, Chemical Constituents, and Application of *Plantago lanceolata* L. *Journal of Chemistry*, 2022. doi: <https://doi.org/10.1155/2022/1532031>.
- 3- ABIRAMI, A., NAGARANI, G., & SIDDHURAJU, P. (2014). In vitro antioxidant, anti-diabetic, cholinesterase and tyrosinase inhibitory potential of fresh juice from *Citrus hystrix* and *C. maxima* fruits. *Food Science and Human Wellness*, 3(1), 16-25. doi: <https://doi.org/10.1016/j.fshw.2014.02.001>.
- 4- ADOM, M. B., TAHER, M., MUTALABISIN, M. F., AMRI, M. S., ABDUL KUDOS, M. B., WAN SULAIMAN, M. W. A., ... SUSANTI, D. (2017). Chemical constituents and medical benefits of *Plantago major*. *Biomedicine & Pharmacotherapy*, 96, 348– 360. doi:10.1016/j.biopha.2017.09.152.
- 5- ARBOS, K. A., CLARO, L. M., BORGES, L., SANTOS, C. A., & WEFFORT-SANTOS, A. M. (2008). Human erythrocytes as a system for evaluating the antioxidant capacity of vegetable extracts. *Nutrition research*, 28(7), 457-463. doi: <https://doi.org/10.1016/j.nutres.2008.04.004>.
- 6- ADELI M. and SAMAVATI V., 2015- Studies on the steady shear flow behavior and chemical properties of water-soluble polysaccharide from *Ziziphus lotus* fruit. *International Journal of Biological Macromolecules*, 72: 580-587. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2014.08.047>.
- 7- AFSAR, T., RAZAK, S., KHAN, M.R., MAWASH, S., ALMAJWAL, A., SHABIR, M., & HAQ, I.U. (2016). Evaluation of antioxidant, anti-hemolytic and anticancer activity of various solvent extracts of *Acacia hydaspica* R. Parker aerial parts. *BMC complement. med. ther.*, 16(1), 258. doi: <https://doi.org/10.1186/s12906-016-1240-8>.
- 8- AHMAD, N., & ZAKARIA, M. R. (2019). Oligosaccharide From Hemicellulose. *Lignocellulose for Future Bioeconomy*, 135–152. doi:10.1016/b978-0-12-816354-2.00008-6.
- 9- AHMAD, N.A., JUMBRI, K., RAMLI, A., ABD GHANI, N., AHMAD, H., & LIM, J.W. (2018). A kinetic approach of DPPH free radical assay of ferulate-based protic ionic liquids (PILs). *Molecules*, 23(12), 3201. doi:10.3390/molecules23123201.
- 10- AKROUT A, EL JANI H, AMOURI S, NEFFATI M. (2010) .Screening of antiradical and antibacterial activities of essential oils of *Artemisia campestris* L., *Artemisia herba-alba* Asso. and *Thymus capitatus* Hoff et Link. growing wild in the southern of Tunisia. *Recent Res Sc & Technol*, 2(1).

- 11- ALAIS C, LINDEN G, ET MICLO L. (2008). Biochimie alimentaire. 6eme Ed: Dunod. P: 40.
- 12- ALBUQUERQUE P.B.S., BARROS W., SANTOS G.R.C., CORREIA M.T.S., MOURÃO P.A.S., TEIXEIRA J.A et CARNEIRO-DA-CUNHA M.G. 2014- Characterization and rheological study of the galactomannan extracted from seeds of *Cassia Grandis*, *Carbohydrate Polymer*,.104 :127–134.doi: <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2014.01.010>.
- 13- ALBUQUERQUE, P. B. S., DE OLIVEIRA, W. F., DOS SANTOS SILVA, P. M., DOS SANTOS CORREIA, M. T., KENNEDY, J. F., & COELHO, L. C. B. B. (2022). Skincare application of medicinal plant polysaccharides- Areview. *Carbohydrate Polymers*, 277, 118824. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2021.118824>.
- 14- ALABI, M. A., MUTHUSAMY, A., KABEKKODU, S. P., ADEBAWO, O. O., & SATYAMOORTHY, K. (2020). Anticancer Properties of Recipes Derived from Nigeria and African Medicinal Plants on Breast Cancer Cells in Vitro. *Scientific African*, e00446. doi: 10.1016/j.sciaf.2020.e00446.
- 15- ALI-RACHEDI F., MERAGHNI S., TOUAIBIA N., & MESBAH, S. (2018). Analyse quantitative des composés phénoliques d'une endémique algérienne *Scabiosa Atropurpurea* sub. *Maritima* L. Bulletin de la société royale des sciences de liège.87, 13-21.
- 16- BACHELET B. (2013). Impact de la phytothérapie sur le système immunitaire. Présentation des plantes médicinales agissant sur le système immunitaire., 1-31 p.
- 17- BACCARIN, T., MITJANS, M., LEMOS-SENNA, E., & VINARDELL, M. P. (2015). Protection against oxidative damage in human erythrocytes and preliminary photosafety assessment of *Punica granatum* seed oil nanoemulsions entrapping polyphenol-rich ethyl acetate fraction. *Toxicology in Vitro*, 30(1), 421-428. doi: <https://doi.org/10.1016/j.tiv.2015.09.020>.
- 18- BAJPAI, P. (2020). Biomass composition. *Biomass to Energy Conversion Technologies*, 31–40. doi:10.1016/b978-0-12-818400-4.00004-9
- 19- BARDOULAT M. (2007). Les bienfaits de la mer : les ressources maritimes au service de votre santé. Les algues, légumes de la mer et bien plus encore. : 3-45p.
- 20- Basuny, A. M., Aboel-Ainin, M. A., & Hassan, E. (2023). Microbial polymers, natural pesticides, and environmental protection from chemical pollutants. *Eastern Journal of Agricultural and Biological Sciences*, 3(1), 9-12.
- 21- BENAOUN F.,(2017).Caractérisation Structurale et Potentiel Biologique des Polysaccharides issus de *Plantago notata* Lagasca (Plantaginaceae) et *Urginea noctiflora* Batt et Trab. (Liliaceae) Thèse de doctorat à l'Université Kasdi-Merbah (Ouargla), 209 p.
- 22- BENAOUN, F., DELATTRE, C., BOUAL, Z., URSU, A. V., VIAL, C., GARDARIN, C., ... & PIERRE, G. (2017). Structural characterization and rheological behavior of a heteroxylan

- extracted from *Plantago notata* Lagasca (Plantaginaceae) seeds. *Carbohydrate polymers*, 175, 96-104. doi: <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2017.07.056>.
- 23- BENDER, D., NEMETH, R., WIMMER, M., GÖTSCHHOFER, S., BIOLCHI, M., TÖRÖK, K., ... & SCHOENLECHNER, R. (2017). Optimization of arabinoxylan isolation from rye bran by adapting extraction solvent and use of enzymes. *Journal of food science*, 82(11), 2562-2568. doi: <https://doi.org/10.1111/1750-3841.13920>.
- 24- BENYAGOUB .E, . ANOUAR A. AHMED.M. S, NEBBOU. N, BOULOUBA. A. (2016). Essai d'évaluation de l'activité antibactérienne de la gomme arabique d'Acacia tortilis (Forssk) contre quelques souches bactériennes pathogènes. *Bulletin de la Société Royale des Sciences de Liège*, 85, 2016, p. 237 – 252. <https://doi.org/10.25518/0037-9565.6455>.
- 25- BLEICHER-BARDELETTI F, DUCLOS B, et VAMECQ J, (2014). Biochimie tout le cours en fibres hience. PAcés- UE1 –CARES. Dunod. P : 30-33.
- 26- BOUAL Z., (2009). Contribution à l'étude des polysaccharides de quelques plantes spontanées à caractère médicinal de la région de Ghardaïa (Sahara septentrional Est algérien). Thème magistère. Université de (Ouargla). 106p.
- 27- BOUAL Z., KEMASSI A., MICHAUD P et OULD EL HADJ M.D., (2011). Caractérisation partielle des polysaccharides hydrosolubles des feuilles d'*Asphodelus tenuifolius* Cavan (Liliaceae): effet prébiotique des oligosaccharides issus de l'hydrolyse des polysaccharides. *Algerian journal of aridenvironment*, 1 : 52-60.
- 28- BOUAL Z., KEMASSI A., HAMID OUDJANA A., MICHAUD P and OULD EL HADJ M. D., (2013b). Caractérisation partielle des polysaccharides hydrosolubles des feuilles de *Malva parviflora* l. (malvaceae) : activité prébiotique. *Lebanese Science Journal*, 14 : 41-51. doi : <http://lsj.cnrs.edu.lb/wp-content/uploads/2015/12/boual.pdf>.
- 29- BOUAL. Z. (2014). Caractérisation physico-chimique des polysaccharides de quelques plantes spontanées à caractère médicinal récoltées dans la région de Ghardaïa (Sahara Septentrional Est algérien) : Activité biologique. Thèse de doctorat en Biologie. Université Kasdi Merbah (Ouargla). 159p.
- 30- BORAH, P., & BANIK, B. K. (2020). Medicinal plants and their compounds with anticancer properties. *Green Approaches in Medicinal Chemistry for Sustainable Drug Design*, 759– 776. doi:10.1016/b978-0-12-817592-7.00023.
- 31- BOUGANDOURA N., ET BENDIMERAD N. (2012). Effect Antifongique Des Extraits Aqueux et Methanolique de *Satureja calamintha* ssp. '(Nepeta) briq, *Rev. Des Bio Ressources* (2) : 1-7. doi :<https://dspace.univ-ouargla.dz/jspui/bitstream/123456789/6701/3/B020101.pdf>

- 32- BOIZOT, N., ET CHARPENTIER J.P., (2006). Méthode rapide d'évaluation du contenu en composés phénoliques des organes d'un arbre forestier. *Le cahier des techniques de l'Inra* : 79-82 p.
- 33- BOUTLELIS, D. A. (2014). Etude phytochimique et activité antimicrobienne, antioxydante, antihépatotoxique du Marrube blanc ou *Marrubium vulgare L* Doctoral dissertation, Université Badji Mokhtar de (Annaba). 114p.
- 34- BRUNETON J ; 2009. Pharmacognése ; phytochimie plante médicinal 4 éd. Tec ET Doc paris: 57-60.
- 35- BRUNETON, J. (1999). Pharmacognosie, phytochimie, plantes médicinales. Ed. mdicales internationales Editions Technique & Documentation, 673P.
- 36- BRADFORD, M. M. (1976). A rapid and sensitive method for the quantitation of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein-dye binding. *Analytical Biochemistry*, 72(1-2), 248–254. doi:10.1016/0003-2697(76)90527-3.
- 37- BRIAN-JAISSON F., 2014- Identification et caractérisation des exo-polymères de biofilms de bactéries marines. Thème doctorat. Université de Toulon, 257p.
- 38- BRAND-WILLIAMS, W., CUVELIER, M. E., & BERSET, C. L. W. T. (1995). Use of a free radical method to evaluate antioxidant activity. *LWT-Food science and Technology*, 28(1), 25-30. doi: [https://doi.org/10.1016/S0023-6438\(95\)80008-5](https://doi.org/10.1016/S0023-6438(95)80008-5).
- 39- BRUDIEUX, V. (2007). Extraction, modification enzymatique et caractérisation chimique de nouvelles structures pectiques. Application de la relation structure/activité à la dermocosmétique. Thèse de doctorat, Chimie Appliquée - Chimie des Substances Naturelles, Université de Limoges, 3P.
- 40- BRUDIEUX V., (2007). Extraction, modification enzymatique et caractérisation chimique de nouvelles structures pectiques. Application de la relation structure/activité à la dermocaustique. Thèse De Doctorat de l'Université de Limoges, (France), 193p.
- 41- CECCANTI, C., FINIMUNDY, T. C., MELGAR, B., PEREIRA, C., FERREIRA, I. C., & BARROS, L. (2022). Sequential steps of the incorporation of bioactive plant extracts from wild Italian *Plantago coronopus L.* and *Cichorium intybus L.* leaves in fresh egg pasta. *Food Chemistry*, 384, 132462. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2022.132462>.
- 42- CAI J., MANA J., HUANGA J., LIU Q., WEIC W. and WEI C., (2015). Relationship between structure and functional properties of normal rice starches with different amylose contents. *Carbohydrate Polymers*. 125: 35-44. doi: <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2015.02.067>.
- 43- CRINI, G., GUIBAL, E., MORCELLET, M., TORRI, G., & BADOT, P. M. (2009). Chitine et chitosane. Préparation, propriétés et principales applications. In *Chitine et chitosane (du biopolymère à l'application)* (pp. 19-54).

- 44- CHAKOU F Z, MEHELLOU Z, BOUAL Z, ADDOUN N, MICHAUD PH et OULD EL HADJ M D., 2018.- Activité antidiabétique des polysaccharides hydrosolubles des feuilles d'oudneya africana r. Br. Récoltée au sahara septentrional est algérien. Depot institutionnel de l'Université Kasdi Merbah Ouargla UKMO.
- 45- CHAN, E. W. C., LIM, Y. Y., & OMAR, M. (2007). Antioxidant and antibacterial activity of leaves of *Etingera* species (Zingiberaceae) in Peninsular Malaysia. *Food chemistry*, 104(4), 1586-1593. doi: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2007.03.023>.
- 46- CHEN H. X., ZHANG M., QU Z., et XIE B. (2008). Antioxidants activities of different fractions of polysaccharide conjugates from green tea (*Camellia sinensis*). *Food Chemistry*, 106 (2): 559-563. doi: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2007.06.040>.
- 47- CHEN J., FUNK J. L., FRYE J. B., OYARZO J. N., ZHANG H and TIMMERMANN B. N., (2016). Anti-inflammatory effects of the essential oils of ginger (*Zingiber officinale* Roscoe) in experimental rheumatoid arthritis. *Pharma Nutrition*, 4: 123–131.
- 48- CHEN DA., PHILIP J., HARRIS., IAN M S, ZORAN Z., LAURENCE D and MELTO N., (2017). Polysaccharide compositions of collenchyma cell walls from celery (*Apium graveolens* L. petioles. *BMC Plant Biology*, 17:1-13.
- 49- CHEN L., HUANG G. (2018). The antiviral activity of polysaccharides and their derivatives. *International Journal of Biological Macromolecules*, 115: 77–82. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jff.2018.07.024>.
- 50- CHEN, X., ZHANG, H., DU, W., QIAN, L., XU, Y., HUANG, Y., ... YUAN, J. (2019). Comparison of different extraction methods for polysaccharides from *Crataegus pinnatifida* Bunge. *International Journal of Biological Macromolecules*, 150, 1011-1019. doi: [10.1016/j.ijbiomac.2019.11.056](https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2019.11.056).
- 51- CHEVENIER, A., JOUANNEAU, D., & FICKO-BLEAN, E. (2023). Carrageenan biosynthesis in red algae: a review. *The Cell Surface*, 100097. doi: <https://doi.org/10.1016/j.tcs.2023.100097>.
- 52- CHOUIKH, A .,MEKKI, M .,ET ADJAL , E.H.(2015). Effects of extraction methods on antibacterial activity of different extracts of *Calligonum comosum* l'her. growing in sahara Algerian. *international journal of recent scientific research* ,6, 4, 3534-3536.
- 53- ÇIMEN, M. B. (2008). Free radical metabolism in human erythrocytes. *Clinica chimica acta*, 390(1-2), 1-11. doi: <https://doi.org/10.1016/j.cca.2007.12.025>.
- 54- COVIS, R. (2011). Synthèse de polysaccharides amphiphiles à partir de dextrane et application à la stabilisation d'émulsions directes et inverses. *Institut national polytechnique de Lorraine*.
- 55- CORTES-CAMARGO, S., ACUÑA-AVILA, P. E., RODRIGUEZ-HUEZO, M. E., ROMAN-GUERRERO, A., VARELA-GUERRERO, V., & PEREZ-ALONSO, C. (2019). Effect of chia

- mucilage addition on oxidation and release kinetics of lemon essential oil microencapsulated using mesquite gum–Chia mucilage mixtures. *Food Research International*, 116, 1010-1019. doi: 10.1016/j.foodres.2018.09.040.
- 56- CHIDOUH. A., AOUADI. S., HEYRAUD. A. (2014). Extraction, fractionation and characterization of water-soluble polysaccharide fractions from myrtle (*Myrtus communis* L.) fruit. *Food Hydrocolloids*, 35: 733-739. doi: <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2013.08.001>.
- 57- CHOUANA T., 2017- Caractérisation structurale et activités biologiques des polysaccharides d'*Astragalus gombo bunge*. Thèse de doctorat, Université Kasdi Merbah (Ouargla), 203p.
- 58- COSTE, A. (2011). *Plantago albicans* L. Flore, la flore électronique de Tela Botanica.
- 59- COVIELLO T, MATRICARDI P, MARIANECCI C, ALHAIQUE F (2007) Polysaccharide hydrogels for modified release formulations. *J Control Release* 119:5–24. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jconrel.2007.01.004>.
- 60- CUMMINGS J. and STEPHEN A., (2007). Carbohydrate terminology and classification. *European Journal of Clinical Nutrition*, 61, S5-S18.
- 61- DAUQAN E., ABDULLAH A. (2013). Utilization of gum arabic for industries and human health. *American Journal of Applied Sciences*, 10(10): 1270-1279. doi:10.3844/ajassp.2013.1270.1279.
- 62- DELATTRE C., PIERRE G., GARDARIN C., TRAIKIA M., ELBOUTACHFAITI R., ISOGAI A and MICHAUD P. (2015). Antioxidant activities of a polyglucuronic acid sodium salt obtained from TEMPO mediated oxidation of xanthan. *Carbohydrate Polymers*, 116 : 34–4. doi: <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2014.04.054>.
- 63- DAOUB R. M. A., ELMUBARAK A. H., MISRAN M., HASSAN E. A., OSMAN M. E. (2018). Characterization and functional properties of some natural Acacia gums. *Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences*, 17(3):241–249. <https://doi.org/10.1016/j.jssas.2016.05.002>.
- 64- DE REYNAL B & MULTON J. L. (2009). Additifs et auxiliaires de fabrication dans les industries agroalimentaires. Agents épaississants et gélifiants de nature glucidique. Éd : Lavoisier. PP : 417.
- 65- DELATTRE, C. (2005). Stratégie d'obtention d'oligosaccharides anioniques par dégradation enzymatique de glucuronanes Doctoral dissertation, (Amiens).
- 66- DELAUNAY J. (1988). Biochimie. Hermann Editeurs des sciences des Arts. 75p.
- 67- DEY, M., DAS, M., CHOWHAN, A., & GIRI, T. K. (2019). Breaking the barricade of oral chemotherapy through polysaccharide nanocarrier. *International Journal of Biological Macromolecule*, 130, 34-49. doi:10.1016/j.ijbiomac.2019.02.094
- 68- DHANES B, MHOOPER. N, ET HOUGHTON J D. (2000). Essentiel en biochimie. P: 258.

- 69- DIENG, S. I. M., FALL, A. D., DIATTA-BADJI, K., SARR, A., SENE, M., SENE, M., ... & BASSENE, E. (2017). Evaluation de l'activité antioxydante des extraits hydro-ethanoliques des feuilles et écorces de *Piliostigma thonningii* Schumach. *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, 11(2), 768-776.
- 70- DINORO, J., MAHER, M., TALEBIAN, S., JARFARKHANI, M., MEHRALI, M., ORIVE, G., ... DOLATSHAHIPIROUZ, A. (2019). Sulfated polysaccharide-based scaffolds for orthopaedic tissue engineering. *Biomaterials*, 214, 119214. doi:10.1016/j.biomaterials.2019.05.025
- 71- DJEBAILI, S. (1984). Steppe algérienne, phytosociologie et écologie. Alger: Office des Publications Universitaires. 177 p.
- 72- DONG Y., SØRENSEN K. M., HE S & ENGELSEN S. B., 2017-Gum Arabic authentication and mixture quantification by near infrared spectroscopy. *Food Control*.78:144–149. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2017.02.002>.
- 73- DUBOIS M., GILLES K. A., HAMILTON J. K., PEBERS P. A., and SMITH F., 1956- Colorimetric method for determination of sugar and related substances. *Analytical Chemistry*, 28: 350-356. <https://doi.org/10.1021/ac60111a017>.
- 74- DJAHRA, A. B., BORDJIBA, O., & BENKHERARA, S. (2013). Article original Pharmacognosie Extraction, séparation et activité antibactérienne des tanins de marrube blanc (*Marrubium vulgare* L.). 348–352. <https://doi.org/10.1007/s10298-013-0819-1>
- 75- EBRINGEROVA A., KARDOSOVA A., HROMADKOVA Z. et HRIBALOVA V., (2003). Mitogenic and comitogenic activities of polysaccharides from some *European herbaceous plants*. *Fitoterapia*, 74: 52–61. doi: [https://doi.org/10.1016/S0367-326X\(02\)00295-2](https://doi.org/10.1016/S0367-326X(02)00295-2).
- 76- ESMAEILZADEH KENARI, R., MOHSENZADEH, F., & AMIRI, Z. R. (2014). Antioxidant activity and total phenolic compounds of Dezfoul sesame cake extracts obtained by classical and ultrasound-assisted extraction methods. *Food science & nutrition*, 2(4), 426-435. doi: 10.1002/fsn3.118.
- 77- EBRAHIMZADEH, M. A., NABAVI, S. F., & NABAVI, S. M. (2009). Antioxidant activities of methanol extract of *Sambucus ebulus* L. flower. *Pakistan journal of biological sciences: PJBS*, 12(5), 447-450. doi: <https://doi.org/10.3923/pjbs.2009.447.450>.
- 78- EL ENSHASY, H. A., & HATTI-KAUL, R. (2013). Mushroom immunomodulators: unique molecules with unlimited applications. *Trends in Biotechnology*, 31(12), 668-677. doi: <https://doi.org/10.1016/j.tibtech.2013.09.003>.
- 79- EL SOUDA, S., MOHAMMED, R., MARZOUK, M. M., FAHMY, M. A., HASSAN, Z. M., & FARGHALY, A. A. (2014). Antimutagenicity and phytoconstituents of Egyptian *Plantago*

- albicans L. *Asian Pacific Journal of Tropical Disease*, 4, S946–S951. doi:10.1016/s2222-1808(14)60764-7.
- 80- FAN J., WU Z., ZHAO T., SUN Y., YE H., XU R. and ZENG X., (2014). Characterization, antioxidant and hepatoprotective activities of polysaccharides from *Ilex latifolia* Thunb. *Carbohydrate Polymers*, vol. 101:990-997.
- 81- FEDAIL J.S., AHMED A.A., MUSA H.H., ISMAIL E., SIFALDIN A.Z and MUSA T.H., (2016). Gum arabic improves semen quality and oxidative stress capacity in alloxan induced diabetes rats. *Asian Pacific Journal of Reproduction*, 5: 434-441. doi: <https://doi.org/10.1016/j.apjr.2016.07.014>.
- 82- FELICIA, W. X. L., ROVINA, K., NUR'AQILAH, M. N., VONNIE, J. M., ERNA, K. H., MISSION, M., & HALID, N. F. A. (2022). Recent advancements of polysaccharides to enhance quality and delay ripening of fresh produce: A review. *Polymers*, 14(7), 1341. <https://doi.org/10.3390/polym14071341>
- 83- FRANCIS SUH J. K. and MATTHEW H. W. T., (2000). Application of chitosan-based polysaccharide biomaterials in cartilage tissue engineering: a review. *Biomaterials*. 21: 2589-2598. doi: [https://doi.org/10.1016/S0142-9612\(00\)00126-5](https://doi.org/10.1016/S0142-9612(00)00126-5).
- 84- FRIGUET, B. (2003). Le vieillissement moléculaire et cellulaire et ses futurs enjeux. *L'actualité chimique*, 103-107p.
- 85- FESTY D. (2014). *Ma bible des huiles essentielles*. Edit Quotidien Malin, Paris, France, 549p.
- 86- FERNANDES, M., PADRÃO, J., RIBEIRO, A. I., FERNANDES, R. D., MELRO, L., NICOLAU, T., ... & ZILLE, A. (2022). Polysaccharides and metal nanoparticles for functional textiles: A review. *Nanomaterials*, 12(6), 1006. doi: <https://doi.org/10.3390/nano12061006>.
- 87- GRUNWALD J. & JÄNICKE C. (2006). *Guide de la phytothérapie*. Edit Marabout, France ; 415p.
- 88- GHAZALA I., SILA A., FRIKHA F., DRISS D., ELLOUZ-CHAABOUNI Set HADDAR A., (2015). Antioxidant and antimicrobial properties of water-soluble polysaccharide extracted from carrot peels by-products. *Food Scientists and Technologists*, 2: 1-13. doi: <https://doi.org/10.1007/s13197-015-1831-2>.
- 89- GHERAISSA, N., CHEMSA, A. E., ELSHARKAWY, E. R., & CHERRADA, N. (2022). Phenolic compound profile, and evaluation of biological properties of *Bassia muricata* (L.) Asch. aerial part. *International Journal of Secondary Metabolite*, 9(3), 335-347. doi: <https://doi.org/10.21448/ijsm.1080537>.
- 90- GAZER, M.H., & SHALABI. L.F. (2016). The role of pollen morphology in the identification and classification of *Plantago* (Plantaginaceae). *The Egyptian Society of Experimental Biology*, 10, 125-132. doi: <http://dx.doi.org/10.5455/egyjebb.20160628055424>.

- 91- GEETA K W., VERMA D .2018- Polysaccharides as biomaterials. *Fundamental Biomaterials: Polymers*. 37-70.doi: <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-102194-1.00003-7>.
- 92- GETACHEWA. T & CHUN B. S., (2017) Molecular modification of native coffee polysaccharide using subcritical water treatment: Structural characterization, antioxidant, and DNA protecting activities. *International Journal of Biological Macromolecules*.99:555–562.doi: <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2017.03.034>.
- 93- GEORGE, B., & SUCHITHRA, T. V. (2019). Plant-derived bio adhesives for wound dressing and drug delivery system. *Fitoterapia*, 137, 104241. <https://doi.org/10.1016/j.fitote.2019.104241>
- 94- GHEDIRA, K. GOETZ., P., LEJEUNE, R. (2008) « *Plantago major* L. et *plantago lanceolata* L. (Plantaginaceae). » *Phytothérapie* : 367-371p.
- 95- GENESTIE B., (2006). Optimisation de la production d'arabinoxyloligosaccharides d'intérêt biologique à partir de sons de céréales : roches méthodologiques. Thèse de doctorat, 'université de Limoges: 30-50p.
- 96- GOKSEN, G., DEMIR, D., DHAMA, K., KUMAR, M., SHAO, P., XIE, F., ... & LORENZO, J. M. (2023). Mucilage polysaccharide as a plant secretion: Potential trends in food and biomedical applications. *International Journal of Biological Macromolecules*, 123146. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2023.123146>
- 97- GONÇALVES, S., & ROMANO, A. (2016). The medicinal potential of plants from the genus *Plantago* (Plantaginaceae). *Industrial Crops and Products*, 83, 213– 226. doi:10.1016/j.indcrop.2015.12.038
- 98- GORENFLOT, R & BOURDU, R. (1962). Criteres biochimiques et taxonomie experimentale du genere *Plantago*. p 349.
- 99- GUEMOU, L., FELLAH, S., MAIRIF, M., CHOUHIM, K. M. L., MOUSSAOUI, B., BOUZEMARENE, I. N., & BOUBEKEUR, C. (2023). Floristic diversity of the steppe area of Tissemsilt, Northwest of Algeria. *Biodiversitas Journal of Biological Diversity*, 24(4). doi: 10.13057/biodiv/d240464
- 100- HAN, N., WANG, L., SONG, Z., LIN, J., YE, C., LIU, Z., & YIN, J. (2016). Optimization and antioxidant activity of polysaccharides from *Plantago depressa*. *International journal of biological macromolecules*, 93, 644-654. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2016.09.028>.
- 101- HAO, W., WANG, S., ZHAO, J., & LI, S. (2020). Effects of extraction methods on immunology activity and chemical profiles of *Lycium barbarum* polysaccharides. *Journal of Pharmaceutical and Biomedical Analysis*, 185, 113219. doi: 10.1016/j.jpba.2020.113219.
- 102- HAMDAOUI, N., HEDOUD, H. (2019). Evaluation de quelques activités biologiques d'extrait préparé à partir de la plante *Plantago albicans* L. d'El Oued.

- 103- HAMES B. D. N; HOOPER. M & HOUGHTON.J.D. (2006). Chapitre J . Métabolisme d'un glucide. L'essentiel en Biochimie. Ed, Berti. Paris. P 249-287
- 104- HE P.F., HE L., ZHANG A.Q., WANG X.L., QU L and SUN P.L., (2017) Structure and chain conformation of a neutral polysaccharide from sclerotia of *Polyporus umbellatus*. *Carbohydrate Polymers*, 155: 61-67. doi: <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2016.08.041>.
- 105- HEMAMALINI, T., & DEV, V. R. G. (2018). Comprehensive review on electrospinning of starch polymer for biomedical applications. *International journal of biological macromolecules*, 106, 712-718. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2017.08.079>.
- 106- HOUEROU, H.N. (1995). Bioclimatologie et biogéographie des steppes arides du Nord de l'Afrique Diversité biologique, développement durable et désertisation. Options méditerranéennes. Série B, études et recherches. Edition de l'IAM. Montpellier (CIHEAM) France. 8. 396 p.
- 107- HONG, L., & SUN, C., CAO, J., TANG, D., WANG, Y., LI, X.(2018). Characteristics and immune-enhancing activity of pectic polysaccharides from sweet cherry (*Prunus avium*). *Food Chemistry*, 254, 47-54. doi: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2018.01.145>.
- 108- HU, J.-L., NIE, S.-P., LI, C., & XIE, M.-Y. (2013). In vitro fermentation of polysaccharide from the seeds of *Plantago asiatica* L. by human fecal microbiota. *Food Hydrocolloids*, 33(2), 384–392. doi:10.1016/j.foodhyd.2013.04.006
- 109- HU, Z., NIU, Y., LIU, J., LI, Y., YU, L. (LUCY), ZHANG, H., & XU, Y. (2016). Immunomodulation activity of alkali extract polysaccharide from *Plantago asiatic* L. seeds. *RSC Advances*, 6(80), 76312–76317. doi:10.1039/c6ra09400g
- 110- HU S., YIN J., NIE S., WANG J., PHILLIPS G.O., XIE M and CUI S.W., (2016a) - In vitro evaluation of the antioxidant activities of carbohydrates Bioactive. *Carbohydrates and Dietary Fibre*, 7: 19-27. doi: <https://doi.org/10.1016/j.bcdf.2016.04.001>.
- 111- HU, H., ZHAO, Q., XIE, J., & SUN, D. (2019). Polysaccharides from pineapple pomace: new insight into ultrasonic-cellulase synergistic extraction and hypoglycemic activities. *International journal of biological macromolecules*, 121, 1213-1226. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2018.10.054>.
- 112- IANCHIS, R., ALEXA, R. L., GIFU, I. C., MARIN, M. M., ALEXANDRESCU, E., CONSTANTINESCU, R., ... & PETCU, C. (2023). Novel Green Crosslinked Salecan Hydrogels and Preliminary Investigation of Their Use in 3D Printing. *Pharmaceutics*, 15(2), 373. doi: <https://doi.org/10.3390/pharmaceutics15020373>.
- 113- JAFRI, L., SALEEM, S., IHSAN UL, H., ULLAH, N., & MIRZA, B. (2017). In vitro assessment of antioxidant potential and determination of polyphenolic compounds of *Hedera*

- nepalensis K. Koch. Arab. J. Chem., 10, S3699-S3706.
<https://doi.org/10.1016/j.arabjc.2014.05.002>.
- 114- JANI, G. K., SHAH, D. P., PRAJAPATI, V. D., & JAIN, V. C. (2009). Gums and mucilages: versatile excipients for pharmaceutical formulations. *Asian J Pharm Sci*, 4(5), 309-323. doi:
<https://citeseerx.ist.psu.edu/document?repid=rep1&type=pdf&doi=fa91ed07a0522d3ca01580e8280ca8c0706a36b3>.
- 115- JI, X., HOU, C., & GUO, X. (2019). Physicochemical properties, structures, bioactivities and future prospective for polysaccharides from *Plantago* L. (Plantaginaceae): A review. *International journal of biological macromolecules*, 135, 637-646.
<https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2019.05.211>.
- 116- JI, X., PENG, B., DING, H., CUI, B., NIE, H., & YAN, Y. (2023). Purification, structure and biological activity of pumpkin polysaccharides: a review. *Food Reviews International*, 39(1), 307-319. doi: <https://doi.org/10.1080/87559129.2021.1904973>.
- 117- JIAO, G., YU, G., ZHANG, J., & EWART, H. S. (2011). Chemical structures and bioactivities of sulfated polysaccharides from marine algae. *Marine drugs*, 9(2), 196-223. doi: <https://doi.org/10.3390/md9020196>.
- 118- JOUANNEAU D. (2010). Détermination de la composition et de la distribution des carraghénanes par hydrolyse. 203p.
- 119- JING, Y., ZHANG, S., WANG, F., HU, B., SUN, S., ZHANG, D., ... & WU, L. (2023). Structure-activity relationship of antioxidant polysaccharides from *Salvia miltiorrhiza* based on multiple fingerprint profiles and chemometrics analysis. *LWT*, 114473. doi: <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2023.114473>.
- 120- JIANG, Z., WANG, Y., XIANG, D., & ZHANG, Z. (2022). Structural properties, antioxidant and hypoglycemic activities of polysaccharides purified from pepper leaves by high-speed counter-current chromatography. *Journal of Functional Foods*, 89, 104916. doi : <https://doi.org/10.1016/j.jff.2021.104916>.
- 121- JAMUNA, K. S., C. K. RAMESH, T. R. SRINIVASA, AND K. L. RAGHU. (2010). Comparative studies on DPPH and reducing power antioxidant properties in aqueous extracts of some common fruits. *J. Pharm. Res.* 3:2378–2380. doi: https://www.researchgate.net/profile/Jamuna-Ks/publication/252626688_Comparative_studies_on_DPPH_and_reducing_power_antioxidant_properties_in_aqueous_extract_of_some_common_fruits/links/0deec51f3a50deb3b600000/Comparative-studies-on-DPPH-and-reducing-power-antioxidant-properties-in-aqueous-extracts-of-some-common-fruits.pdf.

- 122- KADIA, R., BHAVSAR, S., SAPRA, P., PANDYA, H., MANKAD, A., & MODI, N. (2022). Phytochemical Investigation and Antioxidant Activity of Ethnomedicinal Plants from Ratanmahal and Udalmahuda Forest, Dahod. *International Journal of Pharmacognosy and Phytochemical Research* 14(1);24-31 .doi: <http://www.ijppr.com/>.
- 123- KARAKAŞ, İ. (2023). Biological activities of green synthesis silver nanoparticles by *Plantago lanceolata* L. leaves. *GSC Biological and Pharmaceutical Sciences*, 22(2), 290-296.doi: <https://doi.org/10.30574/gscbps.2023.22.2.0079>.
- 124- KWON, W., KIM, Y., PARK, C.-H., & PARK, J. (2019). The complete chloroplast genome sequence of traditional medical herb, *Plantago depressa* Willd. (Plantaginaceae). *Mitochondrial DNA Part B*, 4(1), 437–438. doi:10.1080/23802359.2018.1553530
- 125- KISHORE, C., JI, V., KRISHNAN, S., JEEVANANDAM, J., ACQUAH, C., & DANQUAH, M. K. (2023). Plant polysaccharides for cancer theranostics. In *Plant Polysaccharides as Pharmaceutical Excipients* (pp. 453-468). Elsevier. doi: <https://doi.org/10.1016/B978-0-323-90780-4.00004-8>.
- 126- KIDGELL, J. T., MAGNUSSON, M., DE NYS, R., & GLASSON, C. R. (2019). Ulvan: A systematic review of extraction, composition and function. *Algal research*, 39, 101422. doi: <https://doi.org/10.1016/j.algal.2019.101422>.
- 127- KRIMAT, S., DAHMANE, D., DOB, T., NOUASRI, A., METIDJI, H., & KSOURI, A. (2017). Chemical composition, antioxidant and antibacterial activities of the essential oils of medicinal plant *Ammodaucus leucotrichus* from Algeria. *Journal of EssEntial oil rEsEarch*, 29(1), 48-55. doi: <https://doi.org/10.1080/10412905.2016.1201015>.
- 128- KSOURI, R., KSOURI, W. M., JALLALI, I., DEBEZ, A., MAGNÉ, C., HIROKO, I., & ABDELLY, C. (2012). Medicinal halophytes: potent source of health promoting biomolecules with medical, nutraceutical and food applications. *Critical reviews in biotechnology*, 32(4), 289-326. doi: <https://doi.org/10.3109/07388551.2011.630647>.
- 129- KUMAR A., AUGUSTINE D., MEHTA A., DINESH K. R., VISWAM D. and PHILIP R., (2012) *Leuconostoc garlicum*: An Unusual Pathogen in the Era of Vancomycin Therapy. *The Indian Journal of Chest Diseases and Allied Sciences*. 54: 127-130.doi: <https://vpci.org.in/uploads/file/CR-2.pdf>.
- 130- KUMAR, M., TANNA, B., MISHRA, A., & JHA, B. (2018). Physicochemical characterization, antioxidant and anti-proliferative activities of a polysaccharide extracted from psyllium (*P. ovata*) leaves. *International Journal of Biological Macromolecules*, 118, 976–987. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2018.06.139>.
- 131- KUCK L.S and NORENA C.P.Z., (2016). Microencapsulation of grape (*Vitis labrusca* var. Bordo) skin phenolic extract using gum Arabic, polydextrose, and partially hydrolyzed guar

- gum as encapsulating agents. *Food Chemistry*, 194: 569-576.doi: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2015.08.066>.
- 132- KOCABAŞ, F.K., KOCABAŞ, M., AKSU, Ö., & ÇAKIR SAHILLI, Y. (2022). Ascorbic acid ameliorated the sperm quality of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) against arsenic toxicity: Impact on oxidative stress, fertility ability and embryo development. *J. Environ. Sci. Health* .1- 14. doi: <https://doi.org/10.1080/26896583.2022.2060036>
- 133- LAHAYE M., RAY B. (1996). Cell-wall polysaccharides from the marine green alga *Ulva rigida* (Ulvales, Chlorophyta)-NMR analysis of ulvan oligosaccharides. *Carbo hydr. Res.* 283:161–173.
- 134- LE ROUX K., (2012). Purification de la chitine par hydrolyse enzymatique à partir de coproduits de crevette *Penaeus vannamei*. Caractérisations des produits et optimisation du procédé. Thème doctorat. Université de Nantes. 60p.
- 135- LEE, K. Y., JEONG, L., KANG, Y. O., LEE, S. J., & PARK, W. H. (2009). Electrospinning of polysaccharides for regenerative medicine. *Advanced drug delivery reviews*, 61(12), 1020-1032. doi: <https://doi.org/10.1016/j.addr.2009.07.006>.
- 136- LUKOVA, P., KARCHEVA-BAHCHEVANSKA, D., NIKOLOVA, M., ILIEV, I., & MLADENOV, R. (2017). Comparison of structure and antioxidant activity of polysaccharides extracted from the leaves of *Plantago major* L., *P. media* L. and *P. lanceolata* L. *Bulgarian Chemical Communications*, 49, 282-288. doi: http://www.bcc.bas.bg/BCC_Volumes/Volume_49_Special_D_2017/BCC2017-49-SI-D-Juchnovski.pdf#page=280.
- 137- LUKOVA, P., NIKOLOVA, M., PETIT, E., ELBOUTACHFAITI, R., VASILEVA, T., KATSAROV, P., ...DELATTRE, C. (2020). Prebiotic activity of poly-and oligosaccharides obtained from *Plantago major* L. leaves. *Applied Sciences (Switzerland)*, 10(8), 2648. <https://doi.org/10.3390/app10082648>.
- 138- LECLERE, L., VAN CUTSEM, P., & MICHIELS, C. (2013). Anti-cancer activities of pH- or heat-modified pectin. *Frontiers in pharmacology*, 4, 128.doi: <https://doi.org/10.3389/fphar.2013.00128>.
- 139- LEI S., (2016). Bioactivities, Isolation and Purification Methods of Polysaccharides from Natural Products: A review. *International Journal of Biological Macromolecules*, 92: 37-48.doi: <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2016.06.100>.
- 140- LEWALLE, J. (1978). Les plantains du sous-genre *Psyllium* subgeneris. Bulletin de l'Institut Scientifique, Rabat, (2), 69-74.doi: http://www.israbat.ac.ma/wp-content/uploads/2015/01/BIS_2_69-74.pdf.

- 141- LEVERVE, X. (2009). Stress oxydant et antioxydants. *Cahiers de Nutrition et de Diététique*, 44(5), 219-224. <https://doi.org/10.1016/j.cnd.2009.09.001>.
- 142- LIPPI, G., LUCA SALVAGNO, G., MONTAGNANA, M., BROCCO, G. & CESARE GUIDI, G. (2006). Influence of hemolysis on routine clinical chemistry testing. *Clinical Chemistry and Laboratory Medicine (CCLM)*, 44(3): 311-316. doi: 10.1515/cclm.2006.054.
- 143- LI S., HAO L., KANG Q., CUI Y., JIANG H., LIU X & LU J., (2017). Purification, characterization and biological activities of a polysaccharide from *Lepidium meyenii* leaves. *International Journal of Biological Macromolecules*. 103:1302–1310.doi: <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2017.05.165>.
- 144- LI, Q., LI, L., LI, Q., WANG, J., NIE, S., & XIE, M. (2022). Influence of Natural Polysaccharides on Intestinal Microbiota in Inflammatory Bowel Diseases: An Overview. *Foods*, 11(8), 1084. <https://doi.org/10.3390/foods11081084>
- 145- LIU D., SHENG J., LI Z., QI H., SUN S., DUAN Y. and ZHANG W., (2013). Antioxidant activity of polysaccharide fractions extracted from *Athyriummultidentatum* (Doll.) Ching. *International Journal of Biological Macromolecules*, 56: 1-5.doi: <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2013.01.023>.
- 146- LIU H., XIE F., YU L., CHEN L. and LI L., (2009). Thermal processing of starch-based polymers. *Progress in Polymer Science*, 34: 1348-1368.doi: <https://doi.org/10.1016/j.progpolymsci.2009.07.001>.
- 147- LIU J., WILLFO S. and XU C., (2015). A. review of bioactive plant polysaccharides: Biological activities, functionalization, and biomedical applications. *Bioactive Carbohydrates and Dietary Fibre*, 5: 31 – 61.doi: <https://doi.org/10.1016/j.bcdf.2014.12.001>.
- 148- LIU Y., ZHAN J and MENG Z., (2018h).Purification, characterization and anti-tumor activities of polysaccharides extracted from wild *Russula griseocarnosa*. *International Journal of Biological Macromolecules*, 109: 1054-1060.doi: <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2017.11.093>.
- 149- LONG M. Y.L., ZHU D.Y., THAKUR K., WANG C.H., WANG H., REN Y.F and WEI Z. J., (2017). Antioxidant and antibacterial evaluation of polysaccharides sequentially extracted from onion (*Allium cepa* L.). *International Journal of Biological Macromolecules*, 111: 92–101.doi: <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2017.12.154>.
- 150- LOUISOT P. (1989). Biochimie générale et médicale. Ed: SIMEP. 112p.
- 151- MAJI, B. (2019). Introduction to natural polysaccharides. *Functional Polysaccharides for Biomedical Applications*, 1–31. doi:10.1016/b978-0-08-102555-0.00001-7.
- 152- MALLEDAN.Y.(2017). Méthode de surveillance de l'héparine non fractionnée par TC ou anti-Xa. Thèse, université de ANGERS, 70 p.

- 153- MANHIVI V. E., VENTER S., AMONSOU E. O., KUDANGA, T. (2018). Composition, thermal and rheological properties of polysaccharides from amadumbe (*Colocasia esculenta*) and cactus (*Opuntia* spp.). *Carbohydrate Polymers*, 195: 163–169. doi: <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2018.04.062>.
- 154- MANU J., Aravind S. R., George S. K., Varghese S and Sreelekha T. T. (2013). A galactomannan polysaccharide from *Punica granatum* imparts in vitro and in vivo anticancer activity. *Carbohydrate Polymers*, 98: 1466–1475. doi: <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2013.07.023>.
- 155- MARTIN, L. M., SHENG, J., ZIMBA, P. V., ZHU, L., FADARE, O. O., HALEY, C., ... & XU, W. (2022). Testing an Iron Oxide Nanoparticle-Based Method for Magnetic Separation of Nanoplastics and Microplastics from Water. *Nanomaterials*, 12(14), 2348. doi: <https://doi.org/10.3390/nano12142348>.
- 156- MELIH, G and AKPINAR O., (2019) Valorisation of fruit by-products: " Production characterization of pectins from fruit peels, *Food and Bioproducts Processing*. 115, 126-133. doi: <https://doi.org/10.1016/j.fbp.2019.03.009>.
- 157- MEHELLOU, Z. (2015). Caractérisation partielle et activités biologiques des polysaccharides hydrosolubles issus de deux plantes spontanées récoltées au Sahara septentrional Est algérien Doctoral dissertation, Université Kasdi Merbah (Ouargla).154p.
- 158- MENG L., SUN S., LI R., SHEN Z., WANG P. and JIANG X., (2015). Antioxidant activity of polysaccharides produced by *Hirsutella* sp. and relation with their chemical characteristics. *Carbohydrate Polymers*. 117: 452-457. doi: <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2014.09.076>.
- 159- MIAO J., LI X., ZHAO C., GAO X., WANG Y. and GAO W., (2018). Active compounds, antioxidant activity and α -glucosidase inhibitory activity of different varieties of *Chaenomeles* fruits. *Food chemistry*. 248: 330-339. doi: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2017.12.018>.
- 160- MIRHOSSEINI, H., & AMID, B. T. (2012). A review study on chemical composition and molecular structure of newly plant gum exudates and seed gums. *Food Research International*, 46(1), 387-398. doi: <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2011.11.017>.
- 161- MIAO Y.Z., LIN Q., CAO Y., HE G.H., QIAO D.R and CAO Y., (2011). Extraction of water-soluble polysaccharides (WSPS) from Chinese truffle and its application in frozen yogurt. *Carbohydrate Polymers*, 86: 566-573. doi: <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2011.04.071>.
- 162- MIRZADEH, M., ARIANEJAD, M. R., & KHEDMAT, L. (2019). Antioxidant, antiradical, and antimicrobial activities of polysaccharides obtained by microwave-assisted extraction method: A review. *Carbohydrate Polymers*, 229, 115421. doi:10.1016/j.carbpol.2019.115421.

- 163- MONTESANTI, N. (2008). Système modèle de cristallisation de l'amylose A.
- 164- MOUSSARD. C. (2007). Biochimie structural et métabolique.3éd. Bruxelles. 77p.
- 165- MOUSSARD. C. (2010). Chapitre 5: Les glucides -Structures et propriétés. Biochimie et biologie moléculaire. Ed, de boeck. Paris. P 51-62.
- 166- MOHSENZADEH, S., SHEIDAI, M., & KOOHDAR, F. (2023). Seed morphology of some *Plantago* (Plantaginaceae) species in Iran and its systematic and phylogenetic implications. *Turkish Journal of Botany*, 47(1), 73-88.doi: 10.55730/1300-008X.2745.
- 167- MONSIGNY M., PETIT C., and ROCHE A. C., (1988). Calorimetric Determination of Neutral Sugars by a Resorcinol Sulfuric Acid Micromethod. *Analytical biochemistry*, 175: 525-530. doi:[https://doi.org/10.1016/0003-2697\(88\)90578-7](https://doi.org/10.1016/0003-2697(88)90578-7).
- 168- MOVASAGHI, Z., REHMAN, S., & UR REHMAN, D. I. (2008). Fourier transform infrared (FTIR) spectroscopy of biological tissues. *Applied Spectroscopy Reviews*, 43(2), 134-179.doi: <https://doi.org/10.1080/05704920701829043>.
- 169- MUSA, K. H., ABDULLAH, A., & AL-HAIQI, A. (2016). Determination of DPPH free radical scavenging activity: application of artificial neural networks. *Food chemistry*, 194, 705-711. doi: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2015.08.038>.
- 170- MUSA, C. (2019). Élaboration et caractérisation de matériaux composites biosourcés à base de mucilage et de fibres de lin. Littoral. thèse Doctoral, Université du Littoral Côte d'Opale (France). 204p.
- 171- NASSERA, D., SCHERAZED, M., SAFIA, B., & LEILA, K. (2022) Apport Des Plantes Médicinales Et Mellifères A La Diversité Floristique De La Région De Messaad (Algérie). *Revue Agrobiologia*. 12(1): 2905-2914.doi: https://www.researchgate.net/profile/Scherazed-Mekious/publication/360688653_APPORT_DES_PLANTES_MEDICINALES_ET_MELLI FERES_A_LA_DIVERSITE_FLORISTIQUE_DE_LA_REGION_DE_MESSAAD_ALGERIE_CONTRIBUTION_OF_MEDICINAL_AND_MELLIFEROUS_PLANTS_TO_THE_FLORISTIC_DIVERSITY_OF_THE_MESSAAD_REGIO/links/62854a8a1b778707fe8ec38c/APPORT-DES-PLANTES-MEDICINALES-ET-MELLIFERES-A-LA-DIVERSITE-FLORISTIQUE-DE-LA-REGION-DE-MESSAAD-ALGERIE-CONTRIBUTION-OF-MEDICINAL-AND-MELLIFEROUS-PLANTS-TO-THE-FLORISTIC-DIVERSITY-OF-THE-MESSAAD-REGIO.pdf
- 172- NDIAYE M, SY GY, DIÈYE AM, TOURÉ MT and FAYE B. ,(2006). Evaluation de l'activité anti inflammatoire de feuilles *d'annona reticulata* (annonaceae) sur l'œdème aigu de la patte de rat indit par la carragénine. *Pharm. Méd. Trad. Afr.*14 : 179-186.
- 173- NIE, S., CUI, S. W., & XIE, M. (2018). Psyllium Polysaccharide. *Bioactive Polysaccharides*, 395–443. doi :10.1016/b978-0-12-809418-1.00008-3.

- 174- Okoko, T., & Ere, D. (2012). Reduction of hydrogen peroxide–induced erythrocyte damage by *Carica papaya* leaf extract. *Asian Pacific journal of tropical biomedicine*, 2(6), 449-453. doi: [https://doi.org/10.1016/S2221-1691\(12\)60074-4](https://doi.org/10.1016/S2221-1691(12)60074-4).
- 175- OZBEK, H., ERTEN, R., ONER, A., CENGIZ, N., YILMAZ, O., & TUREL, I. (2009). Hepatoprotective and anti-inflammatory activities of *Plantago major* L. *Indian Journal of Pharmacology*, 41(3), 120. doi:10.4103/0253-7613.55211.
- 176- OZENDA, P. (1977). Flora of the Sahara. 2nd Edition, National Center for Scientific Research, (Paris). 622p.
- 177- PAL A., DAS D., KUMAR SARKAR A., GHORAI S., DAS R. and PAL S., (2015). Synthesis of glycogen and poly (acrylic acid)-based graft copolymers via ATRP and its application for selective removal of Pb²⁺ ions from aqueous solution. *European Polymer Journal*, 66: 33-46. doi: <https://doi.org/10.1016/j.eurpolymj.2015.01.024>.
- 178- PATEL, M. K., TANNA, B., GUPTA, H., MISHRA, A., & JHA, B. (2019). Physicochemical, scavenging and anti-proliferative analyses of polysaccharides extracted from *psyllium* (*Plantago ovata* Forssk) husk and seeds. *International Journal of Biological Macromolecules*, 133, 190-201. doi:10.1016/j.ijbiomac.2019.04.062.
- 179- PETRA, S., MUTHURAMAN, M. S., MEENU, M., PRIYA, P., & PEMAIHAH, B. (2016). Anti-inflammatory effects of royal poinciana through inhibition of toll-like receptor 4 signaling pathway. *International Immunopharmacology*, 34, 199– 211. doi:10.1016/j.intimp.2016.02.027
- 180- PARISA S, ELAHEH M, MOHAMMAD ALI M, AFSHIN F, HOOMAN B, (2019). Synthesis and characterization of nanoparticles propolis using beeswax. *Iranian Journal of Chemistry and Chemical Engineering*, 38(2), 9-19. doi: <https://doi.org/10.30492/ijcce.2019.30927>.
- 181- PAN X. X., TAO J. H., JIANG S., ZHU Y and QIAN D. W., 2018-Characterization and immunomodulatory activity of polysaccharides from the stems and leaves of *Abelmoschus manihot* and a sulfated derivative. *International Journal of Biological Macromolecules*, 107: 9-16. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2017.08.130>.
- 182- PATTERSON C. (2008). Polysaccharide (d'origine végétale) pour la santé de l'intestin. A. Agriculture et Agroalimentaire (Canada), 1-3 p.
- 183- PERCIVAL, E., & MCDOWELL, R. H. (1967). Chemistry and enzymology of marine algal polysaccharides.
- 184- PERSIN Z., STANA-KLEINSCHEK, K., FOSTER, T.J., VAN DAM, J.E.G., BOERIU, C.G., NAVARD, P., (2011). Challenges and opportunities in polysaccharides research and technology: The EPNOE views for the next decade in the areas of materials, food and health

- care. *Carbohydrate Polymers*. 84 (2011) 22–32.doi: <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2010.11.044>.
- 185- PINHEIRO A.C., BOURBON A.I., ROCHA C., RIBEIRO C., MAIA J.M., GONALVES M.P et VICENTE A.A. (2011). Rheological characterization of carrageenan/galactomannan and xanthan/ galactomannan gels: Comparison of galactomannans from non-traditional sources with conventional galactomannans, *Carbohydr. Polym.*, 83 : 392–399.doi: <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2010.07.058>.
- 186- PLESZCZYNSKA M., WIATERA A., JANCZAREK M. and SZCZODRAK J., (2015). (1→3)- α -D-Glucan hydrolases in dental biofilm prevention and control: A review. *International Journal of Biological Macromolecules*, 79: 761-778.doi: <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2015.05.052>.
- 187- POMIN V. H., (2015). Sulfated glycans in inflammation. *European Journal of Medicinal Chemistry*. 92: 353-369.doi: <https://doi.org/10.1016/j.ejmech.2015.01.002>.
- 188- PONTANIER ,R., DIOUF ,M., ZAAFOURI MS. (2003). Ecologie et regime hydrique de deux formations a *Acacia raddiana* au nord et au sud du Sahara (Tunisie, Senegal) In: Grouzis M, Le Floc'h E, editors. *Un arbre au desert: Acacia raddiana.* (Paris): Institut de Recherche pour le Developpement (IRD). p. 79–101.
- 189- POUGET, M. (1980). Les relations sol-vegetation dans les steppes Sud algeroises These Doctorat d'Etat. (Paris): Institut de recherche pour le développement. 555p.
- 190- PRAJAPATI V. D., MAHERIYA P. M., JANI G. K. and SOLANKI H. K., (2014). Carrageenan: A natural seaweed polysaccharide and its applications. *Carbohydrate Polymers*. 105: 97-112.doi: <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2014.01.067>.
- 191- PUECH, S. (1988). Graines, aptitudes germinatives et caryotype de populations de *Plantago albicans* L. (Plantaginaceae) de Tunisie 2. Original Article. (France). 135, 353-359.
- 192- QUEZEL, P., SANTA, S.(1963). Nouvelle flore d'Algérie et des régions désertiques méridionales. Tome 2. Editions Centre national de la recherche scientifique. (Paris). p 117.
- 193- RASHID, F., HUSSAIN, S., & AHMED, Z. (2017). Extraction purification and characterization of galactomannan from fenugreek for industrial utilization. *Carbohydrate Polymers*, 180, 88– 95. doi:10.1016/j.carbpol.2017.10.025.
- 194- RADU, C. F., FIERASCU, I., ORTAN, A., & PAUNESCU, A. (2021). *Plantago media* L.—Explored and Potential Applications of an Underutilized Plant. *Plants*, 10(2), 265. <https://doi.org/10.3390/plants10020265>.
- 195- RAYEGAN A., ALLAFCHIAN A., ABDOLHOSSEINI SARSARI I., & KAMELI P., (2018). Synthesis and characterization of basil seed mucilage coated Fe₃O₄ magnetic nanoparticles as a drug carrier for the controlled delivery of cephalexin. *International Journal*

- of Biological Macromolecules.113:317–328.doi:
<https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2018.02.134>.
- 196- REMIGANTE, A., SPINELLI, S., STRAFACE, E., GAMBARDELLA, L., CARUSO, D., FALLITI, G., ... & MORABITO, R. (2022). Antioxidant activity of quercetin in a H₂O₂-induced oxidative stress model in red blood cells: functional role of band 3 protein. *International Journal of Molecular Sciences*, 23(19), 10991. <https://doi.org/10.3390/ijms231910991>.
- 197- ROUSI, Z., MALHIAC, C., FATOUROS, D. G., & PARASKEVOP, A. (2019). Complex coacervates formation between gelatin and gum Arabic with different arabinogalactan protein fraction content and their characterization. *Food Hydrocolloids*, 96, 577-588. doi:10.1016/j.foodhyd.2019.06.009.
- 198- ROMDHANE M., HADDAR A., GHAZALA I., BEN JEDDOU K., HELBERT C.B and ELLOUZ-CHAABOUNI S., (2017). Optimization of polysaccharides extraction from watermelon rinds: Structure, functional and biological activities. *Food Chemistry*. 216: 355–364. doi: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2016.08.056>.
- 199- RIOUX L , (2010). Caractérisation structurale et évaluation de l'activité biologique de polysaccharides extraits de *saccharina longicruris* Thèse de doctorat présentée à la Faculté des études supérieures de l'Université Laval : 4-41p.
- 200- SAFFIDINE, K. (2018). Etude analytique et biologique des flavonoïdes extraits de *carthamus caeruleus* L. et de *plantago major* L (Doctoral dissertation)40p.
- 201- SALAMA, A. (2019). Cellulose/calcium phosphate hybrids: New materials for biomedical and environmental applications. *International Journal of Biological Macromolecules*, 127, 606-617 doi:10.1016/j.ijbiomac.2019.01.130.
- 202- SALAMA, A., SHUKRY, N., & GUARINO, V. (2020). Polysaccharide-based hybrid materials formolecular release applications. *Nanostructured Biomaterials for Regenerative Medicine*,165–201. doi:10.1016/b978-0-08-102594-9.00006-1.
- 203- SÁENZ, C., SEPÚLVEDA, E., & MATSUHIRO, B. (2004). Opuntia spp mucilage's: a functional component with industrial perspectives. *Journal of arid environments*, 57(3), 275-290. doi: [https://doi.org/10.1016/S0140-1963\(03\)00106-X](https://doi.org/10.1016/S0140-1963(03)00106-X).
- 204- SONG, Q., JIANG, L., YANG, X., HUANG, L., YU, Y., YU, Q., ... XIE, J. (2019). Physicochemical and functional properties of a water-soluble polysaccharide extracted from Mung bean (*Vigna radiate* L.) and its antioxidant activity. *International Journal of Biological*, 138, 874-880, *Macromolecules*. doi:10.1016/j.ijbiomac.2019.07.167
- 205- ŠARIĆ-KUNDALIĆ, B., DOBEŠ, C., KLATTE-ASSELMEYER, V., & SAUKEL, J. (2010). Ethnobotanical study on medicinal use of wild and cultivated plants in middle, south

- and west Bosnia and Herzegovina. *Journal of Ethnopharmacology*, 131(1), 33– 55. doi:10.1016/j.jep.2010.05.061
- 206- SEYFI, R., REZA KASAAI, M., & JAVAD CHAICHI, M. (2018). Isolation and structural characterization of a polysaccharide derived from a local gum: Zedo (*Amygdalus scoparia* Spach). *Food Hydrocolloids*, 87, 915-924. doi:10.1016/j.foodhyd.2018.09.017
- 207- SHEHATA, I. A., EL-HARSHANY, E., ABDALLAH, H. M., ESMAT, A., & ABDEL-SATTAR, E. A. (2018). Anti-inflammatory activity of *Kleinia odora*. *European Journal of Integrative Medicine*, 23, 64-69. doi: <https://doi.org/10.1016/j.eujim.2018.10.005>.
- 208- SHAH, S., FAMTA, P., SHAHRUKH, S., JAIN, N., VAMBHURKAR, G., SRINIVASARAO, D. A., ... & SRIVASTAVA, S. (2023). Multifaceted applications of ulvan polysaccharides: Insights on biopharmaceutical avenues. *International Journal of Biological Macromolecules*, 123669. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2023.123669>.
- 209- SHEKARFOROUSH E, FARALLI A, NDONI S, MENDES A, ET CHRONAKIS I. (2017). Electrospinning of Xanthan Polysaccharide. *Macromolecular Materials and Engineering* : 302(8). doi: <https://doi.org/10.1002/mame.201700067>.
- 210- STANISAVLJEVIĆ, I. T., STOJIČEVIĆ, S. S., VELIČKOVIĆ, D. T., LAZIĆ, M. L., & VELJKOVIĆ, V. B. (2008). Screening the antioxidant and antimicrobial properties of the extracts from plantain (*Plantago major* L.) leaves. *Separation Science and Technology*, 43(14), 3652-3662. <https://doi.org/10.1080/01496390802219091>.
- 211- SHI L., (2016). Bioactivities, isolation and purification methods of polysaccharides from natural products: A review. *International Journal of Biological Macromolecules*,. 92: 37-48. doi : <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2016.06.100>.
- 212- SHANG, H., WU, H., DONG, X., SHI, X., WANG, X., & TIAN, Y. (2019). Effects of different extraction methods on the properties and activities of polysaccharides from *Medicago sativa* L. and extraction condition optimization using response surface methodology. *Process biochemistry*, 82, 179-188. doi: <https://doi.org/10.1016/j.procbio.2019.03.027>.
- 213- SHARKAWY, A., BARREIRO, M. F., & RODRIGUES, A. E. (2019). Preparation of chitosan/gum Arabic nanoparticles and their use as novel stabilizers in oil/water Pickering emulsions. *Carbohydrate Polymers*, 224, 115190. doi :10.1016/j.carbpol.2019.115190.
- 214- SHAHIDI, F., & ZHONG, Y. (2015). Measurement of antioxidant activity. *Journal of Functional Foods*, 18, 757–781. doi:10.1016/j.jff.2015.01.047
- 215- SHEN, C.-H. (2019). Quantification and Analysis of Proteins. *Diagnostic Molecular Biology*, 187–214. doi:10.1016/b978-0-12-802823-0.00008-0.

- 216- SINGH R. M., KAUR N. and KENNEDY J. F., (2015). Pullulan and pullulan derivatives as promising biomolecules for drug and gene targeting. *Carbohydrate Polymers*, vol. 123: 190-207. doi: <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2015.01.032>.
- 217- SINGLETON, V. L., & ROSSI, J. A. (1965). Colorimetry of total phenolics with phosphomolybdic-phosphotungstic acid reagents. *American journal of Enology and Viticulture*, 16(3), 144-158. Doi: 10.5344/ajev.1965.16.3.144.
- 218- SIRIVIBULKOVIT K, NOUANTHAVONG S, SAMEENOI Y (2018) Paper-based DPPH assay for antioxidant activity analysis. *Anal Sci* 34:795-800. doi: <https://doi.org/10.2116/analsci.18P014>.
- 219- SINHA, V.R., & KUMRIA, R. (2001). Polysaccharides in colon-specific drug delivery. *International Journal of Pharmaceutics*, 224(1-2), 19-38. doi: [https://doi.org/10.1016/S0378-5173\(01\)00720-7](https://doi.org/10.1016/S0378-5173(01)00720-7).
- 220- SOEKARJO ,R. (1992). General morphology in *Plantago*. In: Kuiper PJC, Bos M, editors. *Plantago: a multidisciplinary study*. Berlin: Springer-Verlag;6–12p.
- 221- SOŁOWIEJ, B. G., NASTAJ, M., WARACZEWSKI, R., SZAFRANSKA, J. O., MUSZYNSKI, S., RADZKI, W., & MLEKO, S. (2023). Effect of polysaccharide fraction from oyster mushroom (*Pleurotus ostreatus*) on physicochemical and antioxidative properties of acid casein model processed cheese. *International Dairy Journal*, 137, 105516. doi : <https://doi.org/10.1016/j.idairyj.2022.105516>.
- 222- SOUKOULIS C., GAIANI C., HOFFMANN, L. (2018). Plant seed mucilage as emerging biopolymer in food industry applications. *Current Opinion in Food Science*, 22: 28–42. doi: <https://doi.org/10.1016/j.cofs.2018.01.004>.
- 223- SOUZA R.O. MADEIRA S, J.C, CHAGAS F.D.S, PARREIRAS, L.A, SANTOS G.R.C, ASSREUY, A.M.S, MOUR A.O, ET PEREIRA, M.G (2015). Purified polysaccharides of *Geoffroe aspinosa* barks have anticoagulant and antithrombotic activities devoid of hemorrhagic risks. *Carbohydrate Polymers* (124):208-21.
- 224- SUN, M., LI, Y., WANG, T., SUN, Y., XU, X., & ZHANG, Z. (2018). Isolation, fine structure and morphology studies of galactomannan from endosperm of *Gleditsia japonica* var. *delavayi*. *Carbohydrate Polymers*, 184, 127–134. doi:10.1016/j.carbpol.2017.12.003
- 225- SU, Y., & LI, L. (2020). Structural characterization and antioxidant activity of polysaccharide from four auriculariales. *Carbohydrate polymers*, 229, 115407. doi: <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2019.115407>.
- 226- SZEWCZYK, K., HEISE, E. M., & PIWOWARSKI, J. P. (2018). Preliminary characterization and bioactivities of some *Impatiens* L. water-soluble polysaccharides. *Molecules*, 23(3), 631. doi: <https://doi.org/10.3390/molecules23030631>.

- 227- TANG, Y., XIAO, Y., TANG, Z., JIN, W., WANG, Y., CHEN, H., ... & WANG, X. (2019). Extraction of polysaccharides from *Amaranthus hybridus* L. by hot water and analysis of their antioxidant activity. *PeerJ*, 7, e7149. doi: <https://doi.org/10.7717/peerj.7149>.
- 228- TABARSA, M., YOU, S., YELITHAO, K., PALANISAMY, S., PRABHU, N. M., & NAN, M. (2019). Isolation, structural elucidation and immuno-stimulatory properties of polysaccharides from *Cuminum cyminum*, *Carbohydrate Polymers*, 230, 115636. doi: [10.1016/j.carbpol.2019.115636](https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2019.115636).
- 229- TABASUM, S., YOUNAS, M., ZAEEM, M. A., MAJEED, I., MAJEED, M., NOREEN, A., ... ZIA, K. M. (2018). A review on blending of corn starch with natural and synthetic polymers, and inorganic nanoparticles with mathematical modeling. *International Journal of Biological Macromolecules*, 122, 969-996. doi: [10.1016/j.ijbiomac.2018.10.092](https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2018.10.092) 136.
- 230- TAHIR, H. E., XIAOBO, Z., MAHUNU, G. K., ARSLAN, M., ABDALHAI, M., & ZHIHUA, L. (2019). Recent developments in gum edible coating applications for fruits and vegetables preservation: A review. *Carbohydrate Polymers*, 224, 115141. doi: <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2019.115141>.
- 231- TALBI, H., BOUMAZA, A., EL-MOSTAFA , K., TALBI, J., ET HILALI, A. (2015). Evaluation de l'activité antioxydante et la composition physico-chimique des extraits méthanolique et aqueux de la *Nigella sativa* L. *JMESCNC*, 6(4), 1111- 1117.
- 232- TANG T., DUAN X., KE Y., ZHANG L., SHEN Y., HU B., IPING LIU I., CHENA H., LI C., WU W., SHEN L and LIU Y.,(2018). Antidiabetic activities of polysaccharides from *Anoectochilus roxburghii* and *Anoectochilus formosanus* in STZ-induced diabetic mice. *International Journal of Biological Macromolecules*, 112: 882–888. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2018.02.042>.
- 233- TASKOVA, R., EVSTATIEVA, L., HANDJIEVA, N., & POPOV, S. (2002). Iridoid Patterns of Genus *Plantago* L. and Their Systematic Significance. *Naturforsch. Z*, 57, 42-50. doi: <https://doi.org/10.1515/znc-2002-1-208>.
- 234- TCHOBANIAN, A., VAN OOSTERWYCK, H., & FARDIM, P. (2018). Polysaccharides for Tissue Engineering: Current Landscape and Future Prospects. *Carbohydrate Polymers*, 205, 601- 625. doi: [10.1016/j.carbpol.2018.10.039](https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2018.10.039).
- 235- TINKOV, A. A., NEMERESHINA, O. N., POPOVA, E. V., POLYAKOVA, V. S., GRITSENKO, V. A., & NIKONOROV, A. A. (2013). *Plantago maxima* leaves extract inhibits adipogenic action of a high-fat diet in female Wistar rats. *European Journal of Nutrition*, 53(3), 831– 842. doi: [10.1007/s00394-013-0587-6](https://doi.org/10.1007/s00394-013-0587-6).
- 236- TEDJANI, A., BOUAL, Z., EL HADJ, M. D. O., LANEZ, T., BELKHALFA, H., EL ALAOUI-TALIBI, Z., ... & MICHAUD, P. (2023). Antidiabetic potential of mucilage fraction

- extracted from *Astragalus gyzensis* seeds. *European Journal of Biological Research*, 13(1), 18-30. <http://dx.doi.org/10.5281/zenodo.7618530>.
- 237- TRIVEDI, P.C. (2009). Medicinal plants. Utilisation and Conservation.
- 238- TUTEL, B., KANDEMIR, I., KUŞ, S., & KENCE, A. (2005). Classification of Turkish *Plantago* L. Species Using Numerical Taxonomy. *Turkish Journal of Botany*, 29, 51- 61. doi: <https://journals.tubitak.gov.tr/botany/vol29/iss1/5>.
- 239- TUKAPPA NK, A., LONDONKAR, R. L., KUMAR CB, S., & NAYAKA, H. B. (2015). Evaluation of in vitro and in vivo anti-inflammatory and toxicity studies of methanolic extract of *Rumex vesicarius* Linn. *Oriental Pharmacy and Experimental Medicine*, 15(2), 113– 121. doi:10.1007/s13596-015-0180-z.
- 240- TZIANABOS A. O., (2000) -Polysaccharide Immunomodulators as Therapeutic Agents: Structural Aspects and Biologic Function. *Clinical Microbiology Reviews*, . 13: 523-533. doi: <https://doi.org/10.1128/CMR.13.4.523>.
- 241- UMMARTYOTIN S. and MANUSPIYA H., (2015) - A critical review on cellulose: From fundamental to an approach on sensor technology. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 41: 402-412. doi: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2014.08.050>.
- 242- Van der Aart P.J.M., J.C. Vulto, (1992)- General biology of *Plantago*. Biogeography and human effects. In: *Plantago: a multidisciplinary study*. P.J.C. Kuiper & M. Bos (eds.), Ecological Studies, 89, Springer-Verlag, (Paris), 5-6.
- 243- VATANPOUR, V., GUL, B. Y., ZEYTUNCU, B., KORKUT, S., İLYASOĞLU, G., TURKEN, T., ... & SAEB, M. R. (2022). Polysaccharides in fabrication of membranes: A review. *Carbohydrate Polymers*, 281, 119041. doi: <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2021.119041>.
- 244- VOET. D & VOET. J. G. (2005). Chapitre 11: Sucre de polysaccharides. *Biochimie 2 é me* . Ed, Paris .356-380p.
- 245- WARRAND J., (2004) - Etude structurale et propriétés en solution des polysaccharides constitutifs du mucilage de lin (*Linum usitatissimum*). Thèse doctorat. Université de Picardie Jules Verne. 238p
- 246- WANG, Z., LU, C., WU, C., XU, M., KOU, X., KONG, D., & JING, G. (2014). Polysaccharide of *Boschniakia rossica* induces apoptosis on laryngeal carcinoma Hep2 cells. *Gene*, 536(1), 203–206. doi:10.1016/j.gene.2013.11.090.
- 247- WANG W., WANG X., YE H., HU B., ZHOU L., JABBAR S and SHEN W., (2016a). Optimization of extraction, characterization and antioxidant activity of polysaccharides from *Brassica rapa* L. *International Journal of Biological Macromolecules*.82:979–988. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2015.10.051>.

- 248- WANG H., XU Z., LI X., SUN J., YAO D., JIANG H and YUE R., (2017). Extraction, preliminary characterization and antioxidant properties of polysaccharides from the testa of *Salicornia herbacea*. *Carbohydrate Polymers*. 176: 99–106. doi: <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2017.07.047>.
- 249- WANG L., LIU H., and QIN G., (2017b)-Structure characterization and antioxidant activity of polysaccharides from Chinese quince seed meal. *Food Chem*, 234:314-322. doi: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2017.05.002>.
- 250- WANG L., ZHANG B., XIAO J., HUANG Q., LI C & FU X., (2018)- Physicochemical, functional, and biological properties of water-soluble polysaccharides from *Rosa roxburghii* Tratt fruit. *Food Chemistry*. Vol.249:127–135. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2018.01.011>
- 251- WANG, S., ZHU, F. (2019). Chemical composition and health effects of maca (*Lepidium meyenii*). *Food chemistry*, 288, 422-443. doi: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2019.02.071>.
- 252- WANG, R., LIANG, R., DAI, T., CHEN, J., SHUAI, X., & LIU, C. (2019b). Pectin-based adsorbents for heavy metal ions: A review. *Trends in Food Science & Technology*, 91, 319-329. doi:10.1016/j.tifs.2019.07.033.
- 253- WASSER S. P., (2002). Medicinal mushrooms as a source of antitumor and immunomodulating polysaccharides. *Appl Microbiol Biotechnol*, 60: 258-274. doi: <https://doi.org/10.1007/s00253-002-1076-7>.
- 254- WEIL. J. (2009)- Biochimie générale .11^{ème} Ed : Dunod. P : 213-215.
- 255- WEINMAN S. et MEHUL P., 2004- TOUTE LA BIOCHIMIE. Ed. DUNOD. 466p
- 256- WERTZ, J.-L. (2011). L'amidon et le PLA: deux biopolymères sur le marché. Note de Synthèse.
- 257- WIJESINGHEA W.A.J.P. and JEON Y. J., (2012)- Biological activities and potential industrial applications of fucose rich sulfated polysaccharides and fucoidans isolated from brown seaweeds: A review. *Carbohydrate Polymers*, 88: 13-20. doi: <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2011.12.029>.
- 258- WOLFF, K ., SCHAAL, B. (1992). Chloroplast DNA variation within and among five *Plantago* species. *Evolutionary Biology*, (5), 325-344. doi: <https://doi.org/10.1046/j.1420-9101.1992.5020325.x>.
- 259- WU D., XU J., CHEN Y., YI M and WANG Q., (2018)-Gum Arabic: A promising candidate for the construction of physical hydrogels exhibiting highly stretchable, selfhealing and tensility reinforcing performances. *Carbohydrate Polymers*. 181: 167– 174. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2017.10.076>.

- 260- XIA, L., DEJI, ZHU, M., LU, Y., & CHEN, D. (2019). Juniperus pingii var. wilsonii acidic polysaccharide: extraction, characterization and anticomplement activity. *Carbohydrate Polymers*, 231, 115728. doi: 10.1016/j.carbpol.2019.115728.
- 261- XU F., LIAO K., WU Y., PAN Q., WUA L., JIAO H., GUO D., LI B. and LIU B., (2016) .Optimization, characterization, sulfation and antitumor activity of neutral polysaccharides from the fruit of *Borojoa sorbilis* cuter. *Carbohydrate Polymers*, 151:364-372. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2016.05.091>.
- 262- XU Y., NIU X., LIU N., GAO Y., WANG L., XU G., LI X and YANG Y., (2018)- Characterization, antioxidant and hypoglycemic activities of degraded polysaccharides from blackcurrant (*Ribes nigrum* L.) fruits. *Food Chemistry*, 243 : 26-35.doi: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2017.09.107>.
- 263- YOUMBAI. A .2015. Contribution à l'étude des polysaccharides hydrosolubles de quelques plantes de la famille des Apiaceae récoltées dans la région de Ghardaïa (Sahara septentrional Algérien). Mémoire de magister(ouargla) .65p
- 264- YANG, R. F., ZHAO, C., CHEN, X., CHAN, S. W., & WU, J. Y. (2015). Chemical properties and bioactivities of Goji (*Lycium barbarum*) polysaccharides extracted by different methods. *Journal of Functional Foods*, 17, 903-909. <https://doi.org/10.1016/j.jff.2015.06.045>.
- 265- YANG, X., LI, A., LI, X., SUN, L., & GUO, Y. (2020). An overview of classifications, properties of food polysaccharides and their links to applications in improving food textures. *Trends in Food Science & Technology*. doi: <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2020.05.020>.
- 266- YIN, J.-Y., NIE, S.-P., ZHOU, C., WAN, Y., & XIE, M.-Y. (2010). Chemical characteristics and antioxidant activities of polysaccharide purified from the seeds of *Plantago asiatica* L. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 90(2), 210–217. doi:10.1002/jsfa.3793.
- 267- YIN, J., LIN, H., LI, J., WANG, Y., CUI, S. W., NIE, S., & XIE, M. (2012). Structural characterization of a highly branched polysaccharide from the seeds of *Plantago asiatica* L. *Carbohydrate Polymers*, 87, 2416-2424.doi: <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2011.11.009>.
- 268- ZACHARIAS, C. A., & SHEPPARD, D. C. (2019). The role of *Aspergillus fumigatus* polysaccharides in host–pathogen interactions. *Current Opinion in Microbiology*, 52, 20– 26. doi :10.1016/j.mib.2019.04.006.
- 269- ZEITOUN, R. (2011). Procédés de fractionnement de la matière végétale-application à la production des polysaccharides du son et de la paille de blé. Thèse de doctorat, Sciences d'Agro-ressources, Université de Toulouse, 129P.

- 270- ZHANG H., YE L and WANG K., (2010). Structural characterization and antiinflammatory activity of two water-soluble polysaccharides from *Bellamyia purificata*. *Carbohydrate Polymers*.81(4):953–960.doi: <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2010.04.011>.
- 271- ZHANG. S., LI X. Z. (2015). Inhibition of α -D-glucosidase by polysaccharides from the fruit hull of *Camellia oleifera* Abel, *Carbohydrate Polymers*, 115: 38-43.doi: <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2014.08.059>.
- 272- ZHANG, H., & MA, Z. F. (2018). Phytochemical and pharmacological properties of *Capparis spinosa* as a medicinal plant. *Nutrients*, 10(2), 116. <https://doi.org/10.3390/nu10020116>
- 273- ZHANG A., SHEN Y., CEN M., HONG X., SHAO Q., CHEN Y and ZHENG, B., (2019)- Polysaccharide and crocin contents, and antioxidant activity of saffron from different origins. *Industrial Crops and Products*. Vol.133:111–117.doi: <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2019.03.009>.
- 274- ZHANG, J., WEN, C., ZHANG, H., & DUAN, Y. (2019b). Review of isolation, structural properties, chain conformation, and bioactivities of *psyllium* polysaccharides. *International journal of biological macromolecules*, 139, 409-420.doi: <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2019.08.014>.
- 275- ZHANG, C., ZHU, X., ZHANG, F., YANG, X., NI, L., ZHANG, W., ... ZHANG, Y. (2020)-. Improving viscosity and gelling properties of leaf pectin by comparing five pectin extraction methods using green tea leaf as a model material. *Food Hydrocolloids*, 98, 105246. doi:10.1016/j.foodhyd.2019.105246
- 276- ZHANG, H., ZOU, P., ZHAO, H., QIU, J., MAC REGENSTEIN, J., & YANG, X. (2021). Isolation, purification, structure and antioxidant activity of polysaccharide from pinecones of *Pinus koraiensis*. *Carbohydrate Polymers*, 251, 117078.doi: <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2020.117078>.
- 277- ZHANG, Y., LEI, Y., QI, S., FAN, M., ZHENG, S., HUANG, Q., & LU, X. (2023). Ultrasonic-microwave-assisted extraction for enhancing antioxidant activity of *Dictyophora indusiata* polysaccharides: The difference mechanisms between single and combined assisted extraction. *Ultrasonics Sonochemistry*, 95,106356. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2023.106356>.
- 278- ZHAO, H., WANG, Q., SUN, Y., YANG, B., WANG, Z., CHAI, G., ... KUANG, H. (2014). Purification, characterization and immunomodulatory effects of *Plantago depressa* polysaccharides. *Carbohydrate Polymers*, 112, 63–72. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2014.05.069>.

- 279- ZHOU, S., & HUANG, G. (2023). Extraction, structure characterization and biological activity of polysaccharide from coconut peel. *Chemical and Biological Technologies in Agriculture*, 10(1), 1-15. doi: <https://doi.org/10.1186/s40538-023-00391-x>.
- 280- ZHAO, Z., WANG, L., RUAN, Y., WEN, C., GE, M., QIAN, Y., & MA, B. (2023 a). Physicochemical properties and biological activities of polysaccharides from the peel of *Dioscorea opposita* Thunb. extracted by four different methods. *Food Science and Human Wellness*, 12(1), 130-139. doi: <https://doi.org/10.1016/j.fshw.2022.07.031>.
- 281- ZOHRA R. R., AMAN A., ZOHRA R.R., ANSARI A., GHANI M. and UL QADER S. A., (2013). Dextranase: Hyper production of dextran degrading enzyme from newly isolated strain of *Bacillus licheniformis*. *Carbohydrate Polymers*, 92: 2149-2153. doi: <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2012.11.044>.
- 282- ZUGENMAIER P. (2008)- «Crystalline cellulose and cellulose derivatives, characterization and structure». Springer series in wood science. Germany, 8p.
- 283 حليس يوسف , 2005 -الموسوعه النباتية لمنطقة سوف.مطبعه الوليد.252ص.

ANNEXES

Annexe 01- Description botanique de *P. albicans* L.

Tableau 01.- Description botanique de *Plantago albicans* L. (COSTE, 2011).

Longueur	10-40 cm
Feuilles	Lancéolées souvent ondulées, atténuées en pétiole, à 3 nervures
Epi	Soyeux-blanchâtre, long, grêle, lâche et interrompu à la base
Sépales	Égaux, ovales, très largement scarieux
Corolle	Fauve, glabre, à lobes ovales mucronés
Capsule	Ovale, à 2 graines oblongues, canaliculées à la face interne
Couleur de la fleur	Jaune
Floraison	Avril-juillet.

Annexe 02- Matériel d'expérimentation

Les photos du matériel utilisé au cours de l'expérimentation sont présentées.



Photo 01.- Etuve



Photo 02.- Centrifugeuse



Photo 03.- Bain marie



Photo 04.- Agitateur magnétique

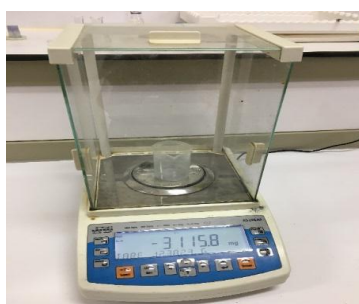


Photo 05.- Balance de précision

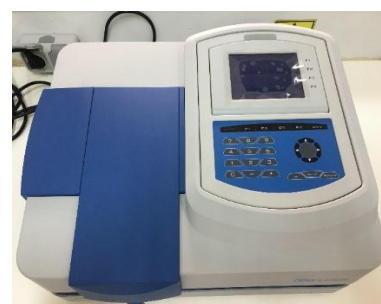


Photo 06.- Spectrophotomètre



Photo 07.- Spectroscopie infrarouge à Transformée de Fourier

Annexe 03- Préparation des solutions

Les différentes solutions utilisées, les concentrations et la méthode de préparation de chacune, sont illustrés dans le tableau 5.

Tableau 5. – Méthodes de préparation des différentes solutions utilisées

Manipulation	Solution	Concentration	Méthode de préparation
	Extrait polysaccharidique	1g/l	Dissoudre 10 mg de l'extrait dans 10 ml d'eau distillée
Dosages des oses	Glucose	0.1 g/l	Dissoudre 1 mg du glucose dans 10 ml d'eau distillée.
	Phénol	5 %	Dissoudre 500 mg de phénol dans 10 ml d'eau distillée
	Resorcinol	6 mg/ml	Dissoudre 150 mg de résorcinol dans 250 ml d'eau distillée
Dosages des protéines	BSA	1g/l	Dissoudre 10 mg du BSA dans 10 ml d'eau distillée
	NaOH	0.5 %	Dissoudre 500 mg de NaOH dans 100 ml d'eau distillée.
	BSA	0.1 g/l	Dissoudre 1 mg du BSA dans 10 ml d'eau distillée
	Bleu de Coomassie	/	Mettre 25 ml d'éthanol 95% avec 50 mg du bleu de Coomassie. Agiter pendant 2h, mélanger avec 50 ml d'acide phosphorique de 85%. Diluer avec l'eau distillée jusqu'à 500 ml
Dosages des polyphénols	A gallique	1 g/l	Dissoudre 10 mg d'A gallique dans 10 ml d'eau distillée

	Na₂CO₃	20%	Dissoudre 2 g du Na₂CO₃ dans 10 ml d'eau distillée
Activité antioxydant	DPPH	4%	Préparation fraîche : Dissoudre 4 g du DPPH dans 100 ml du méthanol
	FeCl₃	0.1%	Dissoudre 100 mg du FeCl₃ dans 100 ml d'eau distillée
	TCA	10%	Dissoudre 10 g du TCA dans 100 ml d'eau distillée
	Potassium ferricyanure	1%	Dissoudre 1 g du K₃Fe dans 100 ml d'eau distillée
	Fecl₃	80Mm	Dissoudre 0.06488 g du Fecl₃ dans 5 ml d'eau distillée
	Acide ascorbique	50mM	Dissoudre 0.04403 g du d'acide ascorbique dans 5 ml d'eau distillée

Annexe 04- Etapes d'extraction des polysaccharides

Les étapes de l'extraction hydrosolubles des polysaccharides sont présentées ci-dessous:

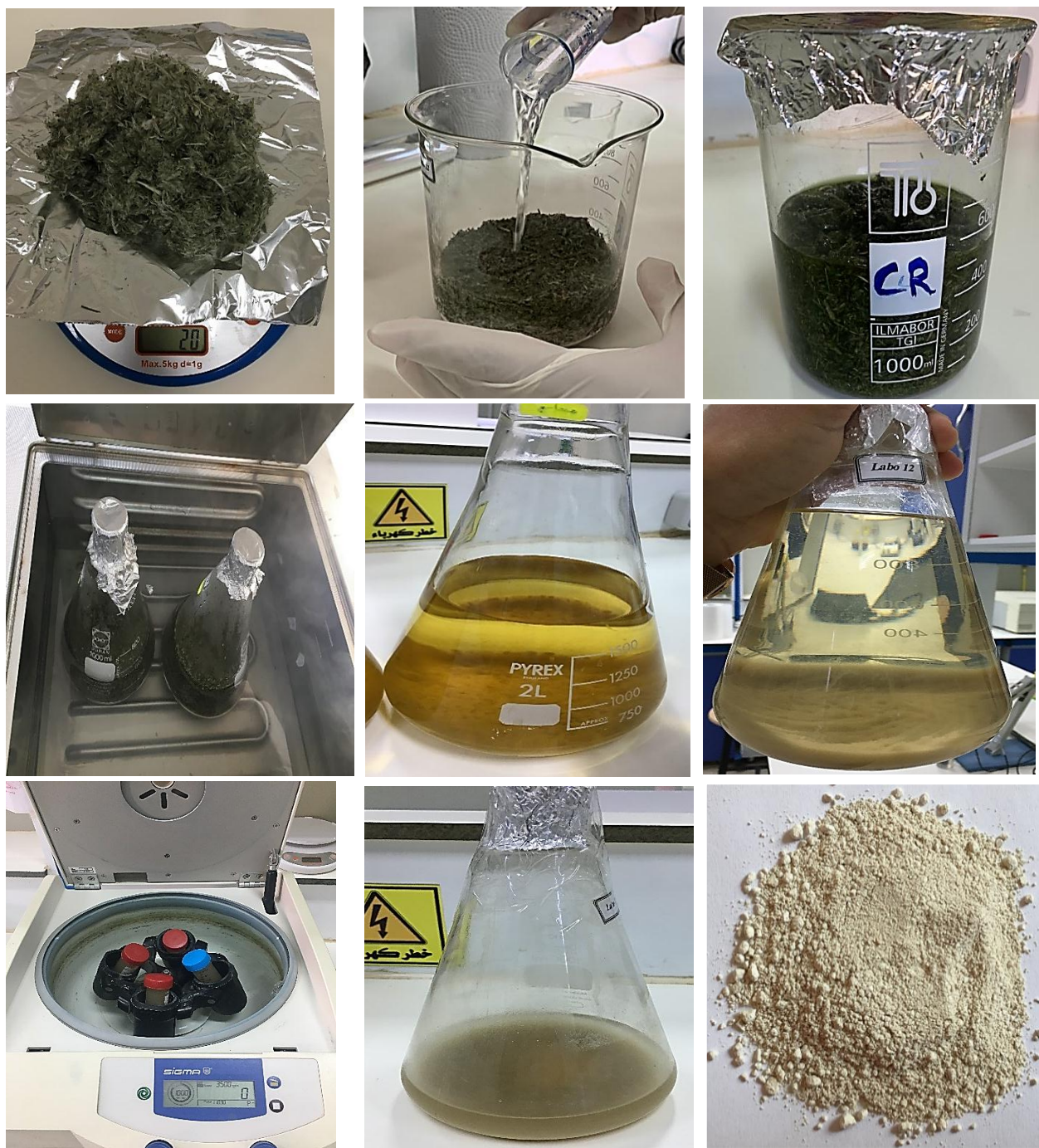


Photo 08.- Quelques photos de la préparation de l'extrait des polysaccharides bruts

Annexe 05- Préparation des étalons

Les différentes gammes étalons sont illustrées dans les tableaux 2, 3, 4.

Tableau 02. – Gamme d'étalonnage de glucose

Concentration (mg/l)	10	20	50	80	100	Blanc
Glc SM 0.1 g/l (ml)	0.1	0.2	0.5	0.8	1	0
Eau Distillée (ml)	0.9	0.8	0.5	0.2	0	1

Tableau 03. – Gamme d'étalonnage d'acide gallique

Concentration (mg/l)	100	200	250	300	350	Blanc
A gallique SM 1 g/l (ml)	0.1	0.2	0.25	0.30	0.35	0
Eau Distillée (ml)	0.9	0.8	0.75	0.70	0.65	1

Tableau 04. – Gamme d'étalonnage de SAB (BRADFORD, 1976)

Concentration (mg/l)	10	20	50	80	100	Blanc
BSA SM 0.1 g/l (ml)	0.1	0.2	0.5	0.8	1	0
Eau Distillée (ml)	0.9	0.8	0.5	0.2	0	1

Annexe 06- Courbes d'étalonnage

Le dosage des oses est réalisé par deux méthodes à partir de différentes concentrations de glucose (Glc) (0.01-0.1 g/l), les oses totaux sont dosés par la méthode de DUBOIS (1956) et la méthode de MONSIGNY (1988) a permis de doser les oses neutres.

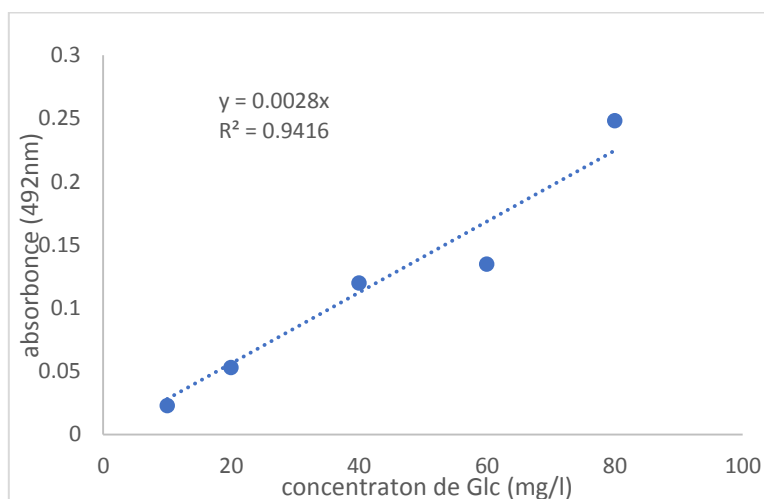
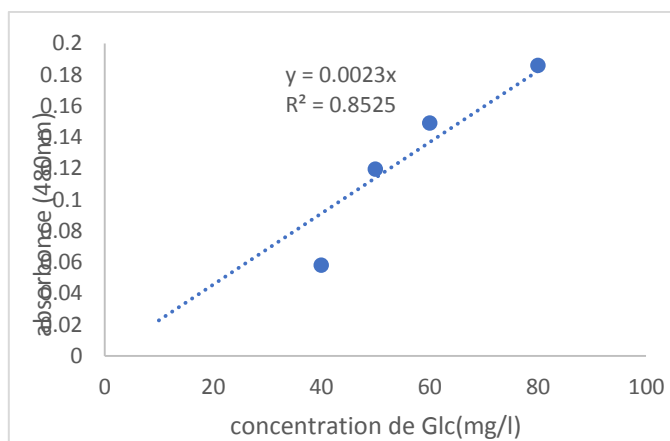
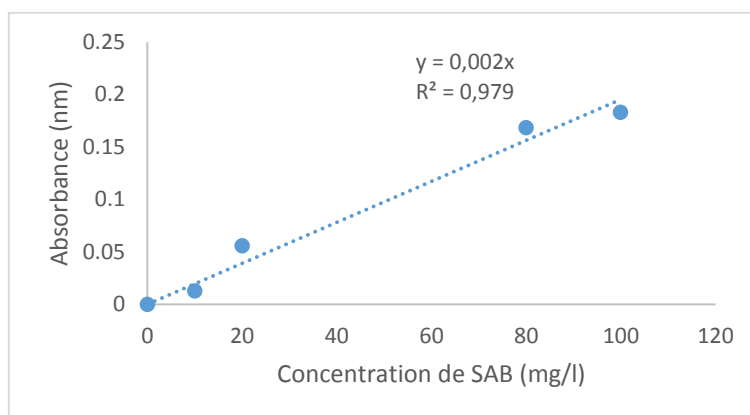
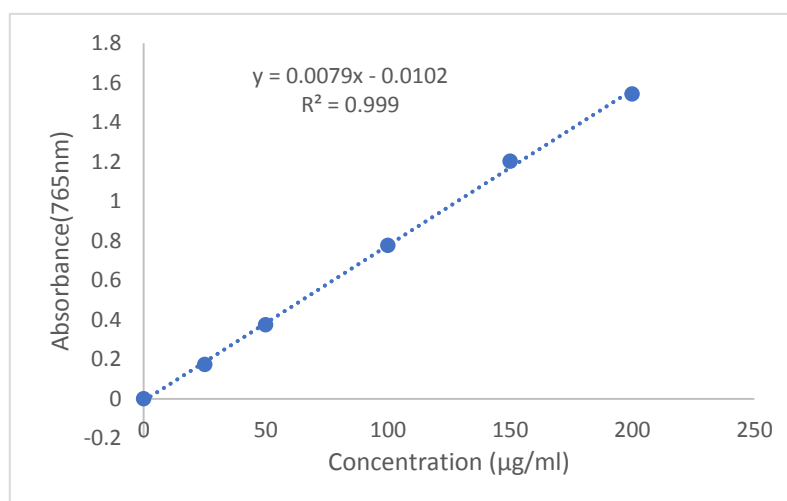


Figure 01.- Courbe d'étalonnage pour les oses totaux (DUBOIS, 1956)**Figure 02.-** Courbe d'étalonnage des oses neutres (MONSIGNY, 1988)

Le dosage des protéines est effectué par méthode de BRADFORD (1976). De sérum albumine bovine (SAB) (0.01 – 0.1 g/l de SAB).

**Figure 03.-** Courbe d'étalonnage pour les protéines (BRADFORD, 1976)

Le dosage des polyphénols est effectué par la méthode SINGLETON et ROSSI (1965) à partir de gamme d'étalons (25 – 200 µg/ml) d'acide gallique.

**Figure 04.-** Courbe d'étalonnage pour les polyphénols

Annexe 07- Activités *in vitro*

Des photos représentant les résultats de l'activité antioxydante des polysaccharides hydrosolubles *Plantago albicans* L. sont indiquées ci-dessous:

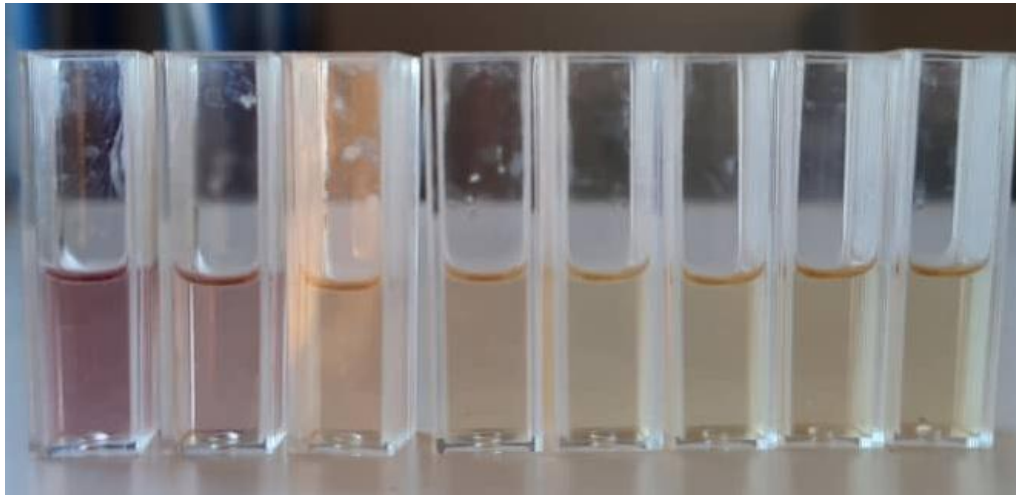


Photo 09.- Réduction du radical libre DPPH

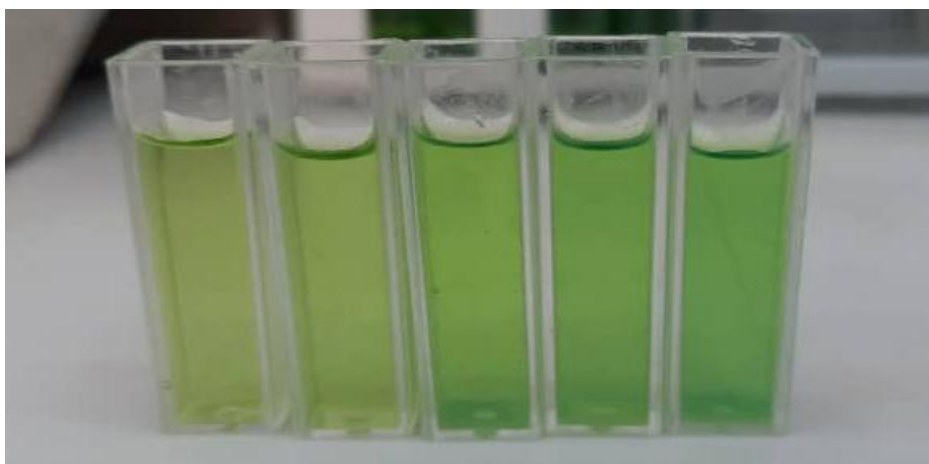


Photo 10.- Réduction ferrique (FRAP)

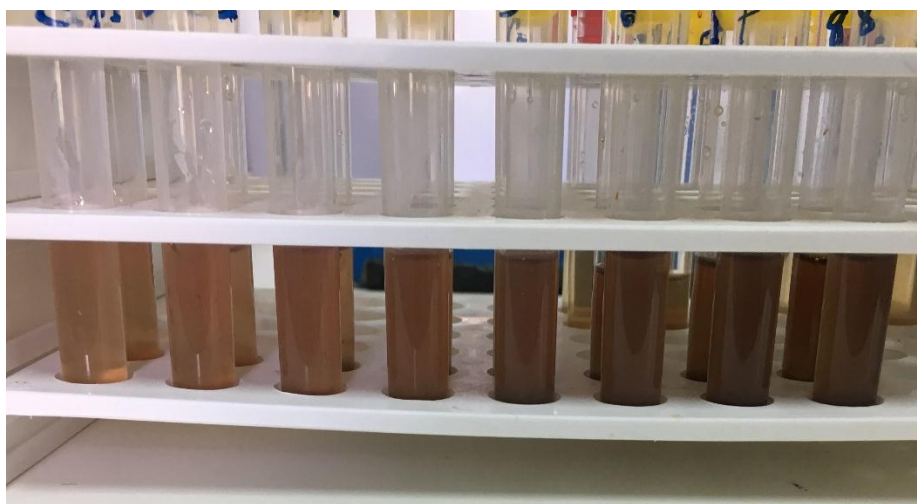


Photo 11.- Activité anti-hémolytique