

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

UNIVERSITE MOHAMED BOUDIAF - M'SILA

FACULTE DES SCIENCES

DEPARTEMENT DE MICROBIOLOGIE ET

DEBIOCHIMIE

N°



DOMAINE : SCINCES DE LA NATURE
ET DE LA VIE

FILIERE : SCIENCES ALIMENTAIRES

OPTION : NUTRITION ET SCIENCES
DES ALIMENTS

Mémoire présenté pour l'obtention

Du diplôme de Master Académique

Par :

SMAILI Sabrine

TERCHI Manar

OUCIEF Nor El houda

Intitulé

La cinétique de dégradation des polysaccharides de fruit de

Jujube "Ziziphus lotus (L.) Lam."

Soutenu devant le jury composé de :

Dr. BELBAHI Amine

Université Mohamed Boudiaf M'sila

Président

Dr. HAMAOUY Yasmina

Université Mohamed Boudiaf M'sila

Rapporteur

Pr. AOUN Omar

Université Mohamed Boudiaf M'sila

Examineur

Année universitaire : 2024/2025

Remerciements

*Louange à **ALLAH**, Seigneur des mondes, qui nous a accordé à tous sa grâce en facilitant et en achevant cette œuvre. Chaque succès et chaque pas que nous avons fait ont été rendus possibles grâce à Dieu Tout-Puissant, en premier lieu et en dernier lieu.*

*Nous ne pouvons qu'exprimer notre grande gratitude au **Dr. HAMAOUI Yasmina**, qui nous a encadrés ce travail. Elle n'a pas hésité à partager ses connaissances, ses conseils et ses outils pour réaliser ce travail. Tous les mots de remerciements ne suffisent pas à exprimer à quel point nous vous sommes reconnaissantes. Vous avez notre plus profonde reconnaissance et gratitude.*

*Nous tenons à exprimer nos sincères remerciements et notre respect au **Dr. BELBAHI Amine** qui a accepté de présider ce jury.*

*Nous tenons à exprimer nos sincères remerciements au professeur **Pr. AOUN Omar**, qui nous a fait l'honneur de réviser ce travail.*

*Nous tenons également à exprimer notre gratitude et notre appréciation au Directeur des Laboratoires de la Faculté des Sciences Biologiques de l'Université de M'sila, **Mr. SGHIRI Kamel**, pour avoir facilité la réalisation de ce travail pratique, également nos sincères remerciements à l'équipe des ingénieurs des laboratoires pour leur généreuse coopération et leur bon traitement à notre égard.*

Un grand merci également à tous les enseignants qui nous ont accompagnés tout au long de notre parcours.

Enfin, nous tenons à exprimer nos sincères remerciements à tous ceux qui nous ont aidés, directement ou indirectement, à rendre ce travail possible.

Nor, Sabrina et Manar



Dédicace

*Avant tout je remercie **ALLAH** le très haute de nous avoir donnée la force, la volonté et la patience de suivre mes études, réaliser et d'achever ce Modest travail.*

*À la mémoire de **mes chers grands-parents**, dont l'amour, la sagesse et les enseignements continuent d'illuminer chacun de mes pas, comme une étoile bienveillante dans l'obscurité.*

À ma très chère mama "SOUAD"

La bougie de ma vie, la source d'amour qui ma toujours guidée avec ses précieux conseils. Merci pour tout ce que m'avez donné depuis mon enfance et j'espère votre bénédiction m'accompagne toujours.

À mon très cher papa "Taher "

Je tiens à exprimer toute ma gratitude à mon père, dont l'amour incommensurable et les sacrifices silencieux ont toujours été des piliers sur lesquels je me suis appuyée. Merci, Papa, pour ton amour sans condition et pour avoir été mon guide, ma source d'inspiration et de force tout au long de ce parcours.

À Mes sœurs adorées,

Affef et Lemya, qui m'entourent toujours de leur amour et de leur bienveillance, ainsi qu'à mon petit neveu Acil, dont l'innocence et la joie de vivre m'apportent tant de bonheur.

*Je n'oublie pas toute **ma famille** Oucief et Benkherbache, dont la chaleur et les valeurs familiales m'ont toujours soutenu, me donnant la force d'avancer.*

*Un immense merci à **mes précieux compagnons de route**, Marama et Yassamin, qui ont été à mes côtés dans les moments les plus importants et ont toujours cru en moi.*

*Enfin, mes **merveilleuses collègues du parcours universitaire** : Meriem, Intissar, Anfel, Sabine et Manar. Leur soutien constant, amitié et main tendue ont fait de ce travail une aventure collective et solidaire.*

NOR EL HOUDA



Dédicace

*Avec toute ma gratitude et mes louanges à Allah , le Tout-Puissant et le Sage, qui m'a permis d'atteindre
.ce jour par Sa grâce et Sa générosité*

*À ma mère Rachida et à mon père mohamed , source de mes prières et pilier de ma stabilité, ma réussite est
.le fruit de vos invocations et de votre tendresse*

.Je suis plus que fière d'être votre fille

*À mes frères et sœurs (Hanane, Afaf, Karime , et moumen) , ainsi qu'à mon cher époux Mohamed, vous
.avez été un soutien indéfectible ; ma reconnaissance envers vous est infinie*

.À moi-même , qui ai résisté et persévéré, ceci est le fruit de ta patience et de ta foi

.À mes proches et sincères : Ikram et Marwa

... À mes amies et compagnes de route : Aya , Rania , Aram, Chaïma, Lobna , Sara , Ikram et fahima

*À Anfal , Intissar , Mariam , Racha et Sabrina... Unies par le savoir, renforcées par les défis. Merci pour
.votre présence, votre soutien et la beauté des souvenirs partagés*

.À Safoua , amie d'enfance et de route... Tes traits ont accompagné chaque étape de ma vie

*À ma grande famille (mes cousines maternelles et paternelles, ainsi que mes tantes) : les familles Tarchi et
.Reguig*

*Et à tous ceux qui ont laissé une empreinte sur mon chemin, qui m'ont enseignée, soutenue, ou simplement
offert un sourire... Ma gratitude envers vous demeurera à jamais dans mon cœur.*

MANAR



Dédicace

À ce que j'ai de plus précieux au monde...

À ceux qui m'ont appris la patience et ont semé en moi la force,

À ceux qui ont enraciné en moi les valeurs et abreuvé mon âme d'amour et de sérénité,

À ceux dont les prières ont été la lumière qui a illuminé mon chemin, et la première, la plus grande et la dernière source de motivation,

À mes chers parents, À mon père, mon pilier, Abdallah, et à ma chère mère, Leïla, mon amour.

Ce moment est votre victoire.

Cette réussite est le fruit de vos efforts,

Un témoignage d'amour et de gratitude qui ne pourra jamais être à la hauteur de ce que je vous dois.

Grâce à vous, après Dieu, je me tiens aujourd'hui fièrement à cette étape de ma vie.

À mes frères : Rabah, Abdel Sattar, Mohamed et Amir,

Et tout particulièrement à ma chère grand-mère, au cœur immense et aux prières sincères,

Et à mes chères tantes, qui ont toujours été une source de tendresse et un soutien inoubliable.

À mes deux merveilleuses camarades de route, Nour El Houda et Manar, avec qui j'ai partagé les efforts, les joies et les réussites,

À mes chères amies qui m'ont accompagnée de 2022 à 2025,

et plus particulièrement : Ajabi Intissar, Atia Allah Mariem et Ben Slimane Anfal, qui ont toujours été un soutien constant, une source de joie et de réconfort.

Et à tous ceux qui m'ont soutenue par un mot, une prière ou un sourire,

Je vous dédie ce travail modeste, avec tout mon amour et ma gratitude.

SABRINE



Résumé

Ce mémoire examine la stabilité des polysaccharides issus du fruit de “*Ziziphus lotus (L.) Lam.*” lorsqu'ils sont soumis à un traitement thermique. L'objectif est d'étudier l'influence de la température (de 60°C à 90°C) et du temps (de 2 à 30 minutes) sur leurs propriétés, telles que le pH, la turbidité et la structure chimique. Des traitements thermiques ont été effectués sur l'écorce du fruit de jujubier, et les résultats ont montré que la chaleur provoque la dégradation des polysaccharides, modifiant leur solubilité. Les analyses FTIR ont mis en évidence les groupements fonctionnels. Les mesures de pH et de turbidité ont confirmé la sensibilité de ces polysaccharides aux traitements thermiques, offrant ainsi des perspectives d'applications dans le secteur alimentaire.

Mots clé : Polysaccharides, traitement thermique, pH, Turbidité.

Abstract

This memory examines the stability of the polysaccharides found in the fruit of “*Ziziphus lotus (L.) Lam.*” when it comes to a thermal treatment. The object is influenced by the temperature (60°C to 90°C) and temps (2 to 30 minutes) on the surfaces that tell the pH, turbidity and chemical structure. Thermal treatments have an effect on the juice of jujube fruit, and the results on them that cause the degradation of polysaccharides, modify their solution. These FTIR analyzes provide information on group functions. The pH and turbidity measurements can confirm the sensitivity of these polysaccharides and thermic treatments, as opposed to the perspectives of applications in the alimentary sector.

Keywords: Polysaccharides, thermometer, pH, turbidity.

ملخص

تبحث هذه الرسالة في استقرار عديدات السكاريد من ثمرة السدر (L.) لام عند تعرضها للمعالجة الحرارية. يهدف البحث إلى دراسة تأثير درجة الحرارة (من 60 إلى 90 درجة مئوية) والوقت (من دقيقتين إلى 30 دقيقة) على خصائصها، مثل الرقم الهيدروجيني (pH)، والعكارة، والتركيب الكيميائي. أُجريت معالجات حرارية على قشور ثمرة السدر، وأظهرت النتائج أن الحرارة تُسبب تحلل عديدات السكاريد، مما يُغير من قابليتها للذوبان. وقد أبرزت تحليلات الأشعة تحت الحمراء بتقنية تحويل فورييه (FTIR) المجموعات الوظيفية. وأكدت قياسات الرقم الهيدروجيني والعكارة حساسية هذه العديدات للمعالجات الحرارية، مما يُتيح تطبيقات محتملة في قطاع الأغذية.

الكلمات المفتاحية: عديدات السكاريد، المعالجة الحرارية، الرقم الهيدروجيني، العكارة.

Liste des figures

Figure 1 : Photographie de la plant de " <i>Ziziphus lotus</i> (L.) Lam." (a), et de son fruit mur (b).....	2
Figure 2 : structur moléculaire de la pectine	4
Figure 3 : Structure moléculaire de chitine	4
Figure 4 : Structure moléculaire de galactomanane.....	5
Figure 5 : Structure moléculaire de la cellulose	5
Figure 6 : la structure moléculaire d'Hémicellulose	6
Figure 7 : Diagramme représentant les étapes de préparation de la poudre d'corce de fruit de jujubier	9
Figure 8: photographie de l'écorce concassée (a), la poudre d'écorce tamisée de fruit de jujube " <i>Ziziphus lotus</i> (L.) Lam." (b).....	10
Figure 9 : photographie de la suspension polysaccharidique , de l'écorce de fruit de jujubie à 10 g/l , avant filtration (a) , photographie de la suspension polysaccharidique , de l'écorce de fruit de jujubie à 10g/l , après fultration (b)	13
Figure 10 : spectre FTIR pour la poudre de l'écorce de fruit de jujubier	16
Figure 11 : le profil thermique (chauffage et refroidissement) , à 80°C / 5minutes , d'une suspension polysaccharidique de la poudre l'écorce de fruit de jujubier	17
Figure 12 : Evolution du pH de la suspension d'écorce de " <i>Ziziphus lotus</i> (L.) Lam. " sous différents traitements thermiques	19
Figure 13 : Evolution du la turbidité relative (%) de la suspension d'écorce de " <i>Ziziphus lotus</i> (L.) Lam." sous différents traitements thermiques	20

Liste des tableaux

Tableau 1 : ci-dessous , regroupes les résultats des constantes de transfert thermique pour les phases de chauffage et de refroidissement. 17

Liste des abréviations

A : Facteur pré-exponentiel (ou facteur de fréquence), lié à la probabilité de collisions efficaces entre les molécules.

e : Base du logarithme naturel ($\approx 2,718$).

E_a : Énergie d'activation (en J/mol), l'énergie minimale nécessaire pour que la réaction ait lieu.

FTIR : Spectrophotomètre infrarouge à transformée de Fourier.

k : La constante de transfert de chaleur (s^{-1}).

KBr : Bromure de potassium.

NTU : Néphélométrie Turbidité Unité.

pH : Mesure de potentiel hydrogène.

R : La constante des gaz parfaits ($8,314 \text{ J. mol}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$).

T : Température absolue (en Kelvin).

$T(t)$: La température de la suspension à l'instant t .

$T_{\text{bain.marie}}$: La température de bain-marie.

UV : Ultraviolet.

Table des matières

Table des matières	iii
Introduction.....	1
Chapitre I :synthèse bibliographique	
I.1.Le jujubier ‘ <i>Ziziphus lotus (L.) Lam.</i> ’	2
I.1.1.La composition de de ‘ <i>Ziziphus lotus (L.) Lam.</i> ’	2
I.2.Les polysaccharides.....	3
I.2.1.Classification des polysaccharides	3
I.2.1.1. La pectine : polysaccharides fixant l’eau.....	4
I.2.1.2. Les polysaccharides de structure.....	4
I.2.2. Activité antioxydante des polysaccharides	6
I.2.3.Caractérisation des polysaccharides du fruit de jujubier	6
I.2.3.1. Les propriétés de la pectine de fruit de jujubier.....	7
I.3. les épaississants	7
I.4. Les traitements thermiques	7
I.4.1.La cinétique de dégradation thermique	7
Chapitre II : Matériels et méthodes	
II.1.Matière végétale : fruit de jujubier ‘ <i>Ziziphus lotus (L.) Lam.</i> ’	9
II.2.Caractérisation de la poudre de l’écorce de fruit de jujubier par spectrophotomètre infrarouge à transformée de Fourier (FTIR).....	10
II.3.Mesure de l’historique thermique d’une suspension de polysaccharide de fruit de jujubier	10
II.3.1.Analyse des données	11
II.4.Traitement thermique.....	13
II.5.Caractérisation des suspensions polysaccharides après application de traitement thermique	14
II.5.1.Mesure de potentiel hydrogène (pH).....	14
II.5.2.Mesure de la turbidité par spectrophotométrie UV-visible (NTU).....	14
Chapitre III :Résultats et discussion	
III.1. Caractérisation de la poudre de l’écorce de fruit de jujubier par spectrophotomètre infrarouge à transformée de Fourier (FTIR)	15
III.2. Historique thermique d’une suspension de polysaccharide de fruit de jujubier	16
III.3. Caractérisation des suspensions polysaccharides après traitement thermique	18
III.3.1. Mesure de potentiel hydrogène (pH)	18

III.3.2. Mesure de la turbidité par spectrophotométrie UV-visible (NTU).....	20
Conclusion	22

Introduction

Introduction

Les ressources végétales naturelles continuent de jouer un rôle fondamental le secteur industriel, en raison de leurs propriétés exceptionnelles et de leur potentiel d'application dans le domaine alimentaire. Parmi ces ressources, le ‘*Ziziphus lotus (L.) Lam.*’ (Ghedira, 2013), plus communément appelé jujubier, présente un potentiel particulier en raison de sa composition.

En Algérie, le jujubier est particulièrement présent dans les régions arides et semi-arides, (Quezel & Santa, 1962). Ce fruit, bien qu'encore sous-exploité à l'échelle industrielle, est riche en polysaccharides, dont la pectine, qui suscite un intérêt croissant en raison de ses propriétés gélifiantes, épaississantes et antioxydantes. La pectine pourrait servir d'agent stabilisant, épaississant, ou gélifiant dans la préparation de produits alimentaires comme les confitures et les gels, tout en apportant des bienfaits pour (Hammi, Jdey, Abdelly, Majdoub, & Ksouri, 2015).

L'étude a pour objectif d'étudier la stabilité des polysaccharides de ‘*Ziziphus lotus (L.) lam.*’ dispersés dans l'eau, suite à l'application d'une série de traitement thermique à 60, 70, 80 et 90 °C, a des pas du temps de 2, 6, 10, 15, 20, 25 et 30 minutes. La partie expérimentale est portée sur la poudre de l'écorce de fruit de jujubier ‘*Ziziphus lotus (L.) lam.*’. Les paramètres évalués sont respectivement le pH et la turbidité. Une caractérisation par spectrophotomètre infrarouge à transformée de Fourier (FTIR), a été appliqué pour la poudre de l'écorce de fruit de jujubier seulement.

Ce manuscrit est structuré en trois chapitres principaux, le premier chapitre est consacré à une revue complète de la littérature sur ‘*Ziziphus lotus (L.) lam.*’, le deuxième chapitre présente la méthodologie expérimentale utilisée, et le troisième chapitre présente les résultats expérimentaux. Au finale une conclusion qui synthétise les points clés de ce travail.

Les résultats de cette étude contribuent à la compréhension du comportement thermique des polysaccharides de ‘*Ziziphus lotus (L.) lam.*’ et ouvrent des perspectives sur leur exploitation industrielle, en mettant en avant leur stabilité et leur fonctionnalité dans diverses formulations industrielles.

Chapitre I

Synthèse bibliographique

Chapitre I : synthèse bibliographique

I.1. Le jujubier “*Ziziphus lotus (L.) Lam.*”

Le mot *Zizyphus* vient du grec “*Zizyphos*” (Azam-Ali, 2006). En Afrique du Nord, il est appelé “*sedra*”, Le fruit de jujube est considéré comme un fruit rarement consommé en raison de sa faible récolte et de l’ignorance de sa valeur nutritionnelle. Le jujubier (**Figure 1a**) est un arbuste vivace (Maraghni et al., 2010), très tolérante de la sécheresse et à la salinité (Liu & Zhao, 2008; Sudhersan & Ashkanani, 2008).



Figure 1 : Photographie de la plante de “*Ziziphus lotus (L.) Lam.*” (Ghedira, 2013) (a), et de son fruit mur (b).

Le fruit de “*Ziziphus lotus (L.) Lam.*” (**Figure 1b**) est appelé localement en Algérie “*nbeg*”, il a la forme d’une drupe de couleur rouge foncé après la maturation (Baba Aissa, 1991 ; Claudine, 2007). Le genre *Zizyphus* est originaire de l’Asie, abondant en Moyen-Orient et en Chypre (Ghedira, 2013 ; Quezel & Santa, 1963) (El Hachimi et al., 2015), comme il est également abondant dans l’Afrique de nord dans les régions arides et semi arides des pays méditerranéens (Abdoul-Azize et al., 2013).

En Algérie “*Ziziphus lotus (L.) Lam.*” est abondant dans les régions arides et semi-aride tel que “*Ain Oussera*” et “*Messad*” (Wilaya de Djelfa) et “*Taghit*” (Wilaya de Béchar). La plante de jujubier est très commune dans toute l’Algérie sauf dans le tell Algéro-constantinois (Quezel & Santa, 1963).

I.1.1. La composition de de “*Ziziphus lotus (L.) Lam.*”

Le fruit jujubier présente plusieurs avantages en termes de nutrition, cosmétique et médecine (Rais et al., 2017), très riche en métabolites primaires ayant un rôle nutritionnel et fonctionnel tels que, l’eau, les minéraux, les polysaccharides, les protéines et la matière grasse (Jones et al., 2012), tel l’acide linoléique et acide alpha-linolénique (Simopoulos, 2008).

En termes de métabolites secondaires, le fruit de “*Ziziphus lotus (L.) Lam.*” est riche en molécules biologiquement actives tels que les polyphénols (flavonoïdes, tanins), les triterpènes, les anthraquinones, les alcaloïdes et les saponosides (**Borgi & Chouchane, 2009**).

Le fruit de jujubier possède une valeur nutritionnelle intéressante, facile à conserver (**Lounnas & Nadji, 2020**), consommé frais, cuit, séché ou fermenté (**Danthu et al., 2000**), également il est utilisé dans la préparation de confiture ou comme boisson alcoolisée (**Koné et al., 2009**).

Parmi les constituants bioactifs de fruit de jujubier, les polysaccharides sont présents en teneur élevée, un grand intérêt s'est développé pour le fruit de jujubier et pour les fonctionnalités de sa composition en polysaccharide (**Adeli & Samavati, 2015; Ji et al., 2018**). Ainsi ce présent travail s'est focalisé sur l'étude des polysaccharides de fruit de “*Ziziphus lotus (L.) Lam.*”, et leurs propriétés suite à l'application de traitement thermique.

I.2. Les polysaccharides

Les polysaccharides sont des polymères biologiques constitués d'un ou plusieurs types de molécules monosaccharidiques. Les polysaccharides constitués de mêmes types d'oses sont nommés les glycanes (**Darge et al., 2019**). Chaque polysaccharide est caractérisé par un degré de polymérisation bien déterminé et un type de liaison entre les monomères. Le glucose, le fructose, le galactose sont parmi les monomères constitutifs. On trouve également du mannose, de l'arabinose, de la xylose et du rhamnose (**Lai et al., 2010**).

Les polysaccharides sont classés en deux types ; les homo-polysaccharides, qui sont des homoglycanes constitués d'un seul type de monosaccharide, par exemple, la cellulose et le glycogène (polymères de glucose) ; des hétéro-polysaccharides ou des hétéroglycanes, constitués de plusieurs stéréo-isomères de monosaccharide (**Roy et al., 2011**).

I.2.1. Classification des polysaccharides

Les polysaccharides sont classés en différentes catégories selon leur structure ou leur fonction biologique. On distingue trois catégories principales (**Liu et al., 2008**).

- Les polysaccharides de structure, tels que la cellulose et la chitine, qui assurent le soutien mécanique des cellules,
- Les polysaccharides de réserve, comme l'amidon et le glycogène, qui stockent l'énergie sous forme de glucose polymérisé,
- Les polysaccharides à propriétés gélifiantes, tels que la pectine, l'acide alginique et les mucopolysaccharides, qui participent à la formation de gels hydrophiles (**Yui & Ogawa, 2005**).

I.2.1.1. La pectine : polysaccharides fixant l'eau

La pectine forme une classe hétérogène de polysaccharides présents dans les parois cellulaires des plantes, utilisée comme un stabilisant, épaississant, agent gélifiant, et émulsifiant (Zhang et al., 2015). Le squelette de la pectine (Figure 2) est composé majoritairement d'unités d'acide D-galacturonique reliées en α (1 - 4) par des liaisons glycosidiques et de faibles quantités de α -L-rhamnose plus ou moins ramifiés (Gawkowska et al., 2018).

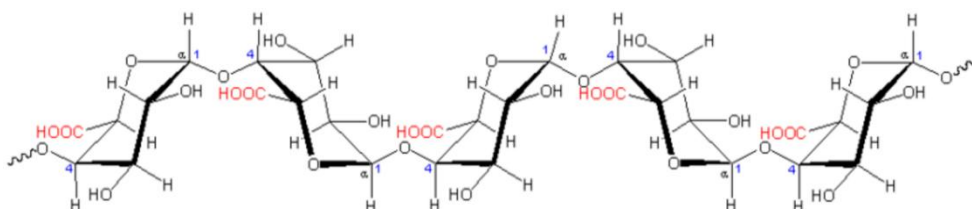


Figure 2 : structure moléculaire de la pectine (Gawkowska et al., 2018).

La structure fine des pectines peut varier en fonction de l'espèce végétale considérée, le stade de développement, la localisation pariétale ou tissulaire, et en fonction de la méthode d'extraction appliquée (Ridley et al., 2001).

I.2.1.2. Les polysaccharides de structure

Les polysaccharides de structure sont des macromolécules qui jouent un rôle clé dans le soutien et la rigidité des cellules, comme la cellulose, la pectine et la chitine. Ces polysaccharides forment des réseaux solides dans les parois cellulaires et servent à maintenir l'intégrité structurelle des tissus (Yolmeh & Jafari, 2017).

a) La chitine

La chitine est une substance inerte, naturellement insoluble dans l'eau ainsi que dans la majorité des solvants organiques (Rinaudo & Domard, 1989), elle possède la capacité de former de nombreuses liaisons hydrogène inter- et intramoléculaires grâce à la présence de groupes hydroxyle ($-OH$) (Rinaudo & Domard, 1989). La chitine est un copolymère constitué d'unités de répétition de deux sucres aminés (Figure 3), à savoir le D-glucosamine et le N-acétyl D-glucosamine, liés par des liaisons β (1 - 4) (Lee; Tan, 2002).

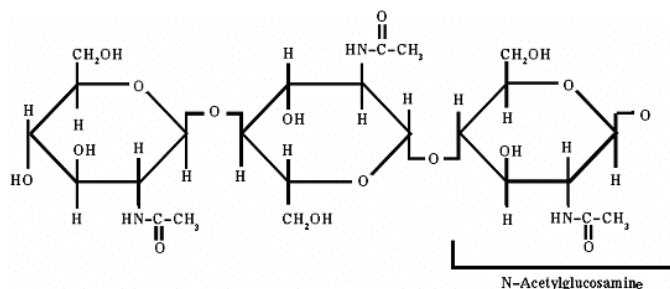


Figure 3: Structure moléculaire de Chitine (Okay, 2005).

b) Les galactomannanes

Les galactomannanes sont des polysaccharides neutres caractérisés par une chaîne principale linéaire (**Figure 4**) constituée d'unités de D-mannose liées par des liaisons β (1 - 4), auxquelles s'ajoutent de courtes chaînes latérales composées d'unités de D-galactose reliées par des liaisons α (1 - 6) (**Samavati, 2013**).

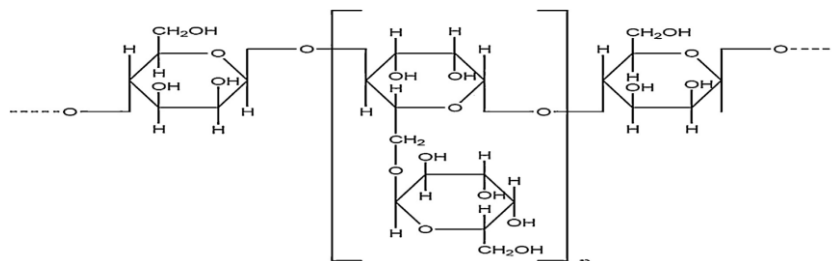


Figure 4 : Structure moléculaire de galactomannane (**Prajapati et al., 2013**).

Les galactomannanes se distinguent par leur teneur en unité galactose exprimée par le rapport de mannose sur le galactose (M/G). Cette différence influence fortement les interactions moléculaires (**Samavati, 2013**), et les propriétés rhéologiques des galactomannanes, qui sont des polysaccharides hydrosolubles et neutres (**Tahmouzi & Ghodsi, 2014**).

c) La cellulose

La cellulose est un homopolysaccharide constitué par l'enchaînement linéaire de résidus de glucose liés entre eux par des liaisons glycosidiques β (1 - 4) (**Figure 5**) (**Pérez, 2000**). Cette liaison confère au polymère une conformation rigide en structure secondaire de type feuillet, favorisant la formation de réseaux étendus de liaisons hydrogènes intra et intermoléculaires. Ces interactions stabilisent fortement la molécule, conférant à la cellulose ses propriétés mécaniques et sa résistance à la dégradation enzymatique (**Lindman et al., 2010**).

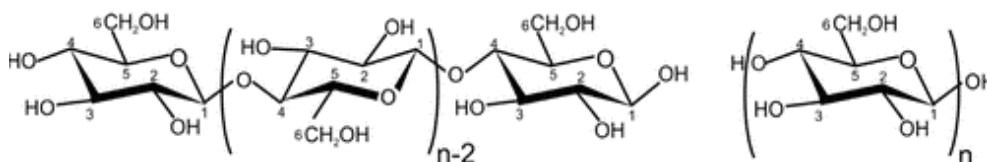


Figure 5 : Structure moléculaire de la cellulose. (**French et al., 2002**).

d) Hémicellulose

Un autre composant important des cellules végétales est constitué par les hémicelluloses, qui forment une matrice autour des microfibrilles de cellulose. Elles sont composées d'une variété de molécules (**Figure 6**), notamment les xyloglucanes, xylanes, mannanes et (1-3) - (1-4) – glucanes (**Ghosh et al., 2023**). Les hémicelluloses jouent également un rôle en tant que réserves

métaboliques et molécules de signalisation au sein des cellules (**Kuki et al., 2020**). Leur production annuelle mondiale dépasse 60 milliards de tonnes, ce qui en fait le deuxième composant renouvelable le plus abondant de la biomasse lignocellulosique après la cellulose (**Li & Pan, 2018**).

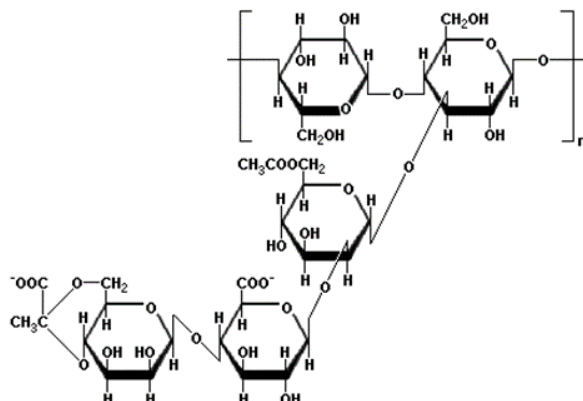


Figure 6 : la structure moléculaire d'Hémicellulose (**French et al., 2002**).

I.2.2. Activité antioxydante des polysaccharides

Les polysaccharides sont connus pour leur activité antioxydante (**Ruan et al., 2022**). En raison de leur structure macromoléculaire, ils ont la capacité de réduire des radicaux libres (**Ruan et al., 2022**). Les polysaccharides hydrosolubles de *Ziziphus jujuba* ont montré une efficace capacité de réduction (**Zhang et al., 2017**), pouvant non seulement éliminer les anions radicaux libres, les superoxydes et les peroxydes d'hydrogène, ils ont également la capacité de chélater les métaux (**Chi et al., 2015**).

I.2.3. Caractérisation des polysaccharides du fruit de jujubier

La teneur en polysaccharides dans le fruit de jujube dépasse 50 % de la composition de fruit (**Zhang et al., 2017**). 46 polysaccharides du jujubier ont été extraits et caractérisés. Ces polysaccharides se sont révélés être des substances bioactives majeures, responsables de l'activité antioxydante, anti-inflammatoire, antifatigue, immunomodulatrice, et de régulation du métabolisme intestinal.

I.2.3.1. Les propriétés de la pectine de fruit de jujubier

Les pectines de fruit de jujubier sont couramment utilisées comme additifs alimentaires (**Thakur et al., 1997**). La pectine est définie aussi comme un polymère de l'acide galacturonique qui peut être estérifié par du méthanol ou des amides. Sa capacité à former des gels est exploitée dans l'industrie alimentaire, notamment dans la préparation de confiture, gelée et produits laitiers (**Gawkowska et al., 2018**).

I.3. Les épaississants

Le terme épaississant désigne les substances hydrophiles susceptibles de produire dans l'eau ou dans les phases aqueuses des solutions épaissies ou des gels (**Zamorano, 2006**). Par leurs propriétés épaississantes, ils ralentissent ou bloquent le mouvement des éléments dispersés (**Williams & Phillips, 2004**). Les épaississants sont souvent appelés stabilisants.

I.4. Les traitements thermiques

Le traitement thermique est un processus dans lequel des températures spécifiques sont utilisées pendant des périodes de temps spécifiques pour induire des changements dans les propriétés physiques et chimiques des matières biologiques de la biomasse ou des végétaux (**Bridgwater, 2012**).

Les polysaccharides subissent des transformations structurelles et fonctionnelles majeures, qu'elles proviennent de sources végétales ou alimentaires. Lorsque les polysaccharides sont exposés à la chaleur, des changements dans la structure moléculaire peuvent se produire, tels que la dépolymérisation de longues chaînes ou le réarrangement des liaisons hydrogène, ce qui affecte leur viscosité et leur solubilité (**Soldi, 2004**).

Le but du traitement thermique est de déterminer l'évolution de ces propriétés en fonction de la température (**Leroy, 2007**).

I.4.1. La cinétique de dégradation thermique

La loi d'Arrhenius (équation 1) est actuellement le modèle le plus largement utilisé pour représenter la perte de masse et le taux de perte de masse des biomasses soumis à un flux de chaleur (**Batiot et al., 2013**).

$$k = A e^{-\frac{E_a}{RT}} \dots \dots \dots \text{équation 1}$$

Où :

k = Constante de la Vitesse de la réaction (dépend de la température),

A = Facteur pré-exponentiel (ou facteur de fréquence), lié à la probabilité de collisions efficaces entre les molécules,

E_a = Énergie d'activation (en J/mol), l'énergie minimale nécessaire pour que la réaction ait lieu,

R = la constante des gaz parfaits (8,314 J. mol⁻¹. K⁻¹),

T = Température absolue (en Kelvin),

e = Base du logarithme naturel ($\approx 2,718$).

Pour déterminer E_a ou A , expérimentalement, la forme logarithmique (équation 2) est souvent utilisée :

$$\ln(k) = \ln(A) - \frac{E_a}{R} \times \frac{1}{T} \dots\dots\dots \text{équation 2}$$

Cette loi empirique établit une relation entre la vitesse d'une réaction chimique initiale et la température (Blivet, 2021).

Chapitre II

Matériels et méthodes

Chapitre II : Matériels et méthodes

Ce présent travail a été réalisé au niveau de laboratoire pédagogique du Département de Biochimie et de Microbiologie, Faculté des Sciences, Université de M'sila. L'étude a pour objectif d'étudier la stabilité des polysaccharides de "*Ziziphus lotus (L.) lam.*" dispersés dans l'eau, suite à l'application d'une série de traitement thermique à 60, 70, 80 et 90 °C, a des pas du temps de 2, 6, 10, 15, 20, 25 et 30 minutes. La partie expérimentale est portée sur la poudre de l'écorce de fruit de jujubier "*Ziziphus lotus (L.) lam.*".

II.1. Matière végétale : fruit de jujubier "*Ziziphus lotus (L.) Lam.*"

La matière première a été récupérer dans les régions de "*Ouanougha*" et de "*Beniyilmen*" (wilaya de m'sila). Le fruit de jujubier a été récolté à la fin du mois d'aout en plein maturité, trié puis conservé à température ambiante jusqu'à son utilisation.

L'écorce de fruit de jujubier (**Figure 8a**) a été séparé manuellement de la pulpe et des graines de fruit, à l'aide d'un mortier en métal pour concasser le fruit et puis d'un tamis pour séparer l'écorce de reste. Ensuite l'écorce récupérée a été broyé et la poudre obtenue est tamisée à l'aide d'un tamis de 250 μm (**Figure 8b**) pour affiner la granulométrie, et ainsi la conservée dans des flacons en verre jusqu'à son utilisation, à température ambiante.

Le diagramme ci-dessous (**figure 7**) regroupe les étapes de la préparation de la poudre d'écorce de fruit de jujubier, sachant que pour 5 kg de fruit utilisé, la quantité finale récupérée après tamisage a été de 675,59 g.

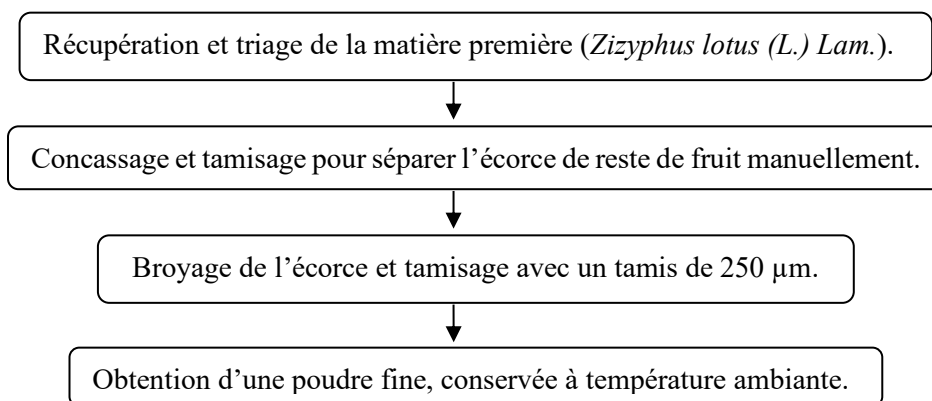


Figure 7 : Diagramme représentant les étapes de préparation de la poudre d'écorce de fruit de jujubier.



Figure 8 : photographie de l'écorce concassée (a), et de la poudre d'écorce tamisée (b) de fruit de jujube ‘*Zizyphus lotus (L) Lam.*’.

II.2. Caractérisation de la poudre de l'écorce de fruit de jujubier par spectrophotomètre infrarouge à transformée de Fourier (FTIR)

Un spectrophotomètre FTIR (Shimadzu, IRSpirit-X) a été utilisé pour l'analyse infrarouge de la poudre de l'écorce de fruit de jujubier. Des pastilles ont été préparées par mélange de 100 mg de du bromure de potassium (KBr), et 2 mg de la poudre à analyser.

Les résultats de spectrophotomètre FTIR ont été acquis suite à un balayage entre 4000 à 400 cm^{-1} , avec une résolution de 4 cm^{-1} et 16 balayages. Les résultats ont été exprimés en unité de transmittance (%). Les spectres obtenus ont été analysés pour identifier les bandes d'absorption caractéristiques.

II.3. Mesure de l'historique thermique d'une suspension de polysaccharide de fruit de jujubier

L'analyser de l'historique thermique de la suspension polysaccharidique de la poudre d'écorce de fruit de jujubier a été réalisé dans un bain-marie à 80 °C, à l'aide d'un thermocouple de type k suspendu dans le centre géométrique de la suspension, durant la phase de chauffage et la phase de refroidissement, ayant pour objectif la caractérisation du comportement thermique de la suspension.

Les données de l'historique thermique ont été acquises à l'aide d'un datalogger (Almemo 204 V7, Ahlborn). Les données ont été collectés toutes les 5 secondes pendant 5 minutes pour la phase de chauffage et la phase de refroidissement de la suspension. La température de la suspension est enregistrée également pendant le refroidissement dans un bain de glace jusqu'à la stabilisation de température enregistrée.

En dernier, la température du bain-marie à 80 °C a été également enregistré toutes les 5 secondes pendant 5 minutes pour vérifier sa stabilité thermique et détecter d'éventuelles fluctuations de température lors de chauffage.

II.3.1. Analyse des données

Les données de température mesurées toutes les 5 secondes pendant 5 minutes ont été exportées via le logiciel Almemo Control 6.3. Les cinétiques de chauffage et de refroidissement ont été modélisées à l'aide de la loi de refroidissement de Newton, également appelée loi de transfert thermique de Newton. Cette loi décrit le transfert de chaleur entre un la suspension de polysaccharides et son environnement, que ce soit pour un chauffage ou un refroidissement.

→ La loi de Newton (équation 3) s'exprime par l'équation, ci-dessous :

$$\frac{dT}{dt} = -k(T(t) - T_{\text{bain.marie}}) \dots\dots\dots \text{équation 3}$$

Où :

$T(t)$: la température de la suspension à l'instant t ,

$T_{\text{bain.marie}}$: la température de bain-marie,

k : la constante de transfert de chaleur (s^{-1}).

→ Pour la phase de chauffage, l'équation de la cinétique (équation 4) ci-dessous est appliquée :

$$T(t) = T_{\text{bain.marie}} - (T_{\text{bain.marie}} - T_0)e^{-kt} \dots\dots\dots \text{équation 4}$$

Où :

T_0 : la température initiale de la suspension,

→ Calcul de “ k ” (équation 5) la constante de transfert de chaleur (s^{-1}) :

$$T(t) = T_{\text{bain.marie}} + (T_{\text{initial}} - T_{\text{bain.marie}}).e^{-kt}$$

$$\frac{T_{(t)} - T_{\text{bain.marie}}}{T_{\text{initial}} - T_{\text{bain.marie}}} = e^{-kt}$$

$$\ln\left(\frac{T_{(t)} - T_{\text{bain.marie}}}{T_{\text{initial}} - T_{\text{bain.marie}}}\right) = -kt$$

$$k = \frac{1}{t} \ln \frac{T_{(t)} - T_{\text{bain.marie}}}{T_{\text{initial}} - T_{\text{bain.marie}}} \dots\dots\dots \text{équation 5}$$

Où :

$T(t)$: la température de la suspension à l'instant t ,

$T_{initial}$: la température initiale de la suspension,

k : la constante de transfert thermique (en s^{-1}),

t : le temps (en secondes).

→ Pour la phase de refroidissement (équation 6), l'équation ci-dessous est appliquée :

$$T(t) = T_{bain.glace} + (T_0 - T_{bain.glace})e^{-kt} \dots\dots\dots \text{équation 6}$$

T_0 : la température au début de la phase de refroidissement.

→ Calcul de “ k ” (équation 7) la constante de transfert de chaleur (s^{-1}) :

$$T(t) = T_{bain.glace} + (T_{initial} - T_{bain.glace}) \cdot e^{-kt}$$

$$\frac{T(t) - T_{bain.glace}}{T_{initial} - T_{bain.glace}} = e^{-kt}$$

$$\ln\left(\frac{T(t) - T_{bain.glace}}{T_{initial} - T_{bain.glace}}\right) = -kt$$

$$k = \frac{1}{t} \ln \frac{T(t) - T_{bain.glace}}{T_{initial} - T_{bain.glace}}$$

Ou :

$$k = \frac{1}{\Delta t} \ln \frac{T(t_2) - T_{bain.glace}}{T(t_1) - T_{bain.glace}} \dots\dots\dots \text{équation 7}$$

Où :

$$\Delta t = t_1 - t_2$$

$T(t_1)$: température initiale de la phase de refroidissement,

$T(t_2)$: Température à un temps ultérieur.

$T_{initial}$: la température initiale de la suspension,

k : la constante de transfert thermique (en s^{-1}),

t : le temps (en secondes).

II.4. Traitement thermique

Le traitement thermique consiste à l'application d'un procédé contrôlé de chauffage et/ou de refroidissement sur un produit ou un mélange, dans ce présent travail il s'agit des polysaccharides de l'écorce de fruit de jujubier dispersés dans de l'eau distillée.

Le traitement thermique constitue une étape clé dans l'analyse des propriétés physico-chimiques des polysaccharides, en raison de son impact sur leur structure moléculaire (pouvoir épaississant, gélification, solubilisation, réorganisation ou dégradation des chaînes polysaccharidiques), et leur comportement en suspension, ce qui peut renforcer leur aptitude à former des réseaux visqueux ou gélifiés, améliorant ainsi la texture, la consistance ou la stabilité de la suspension pour des applications principalement alimentaires, mais aussi pharmaceutiques ou cosmétiques.

Le traitement thermique est réalisé dans ce présent travail par l'application de quatre températures différentes, à savoir 60, 70, 80 et 90°C, et cela pendant 2, 6, 10, 15, 20, 25, et 30 minutes pour chacune des températures citées, suivie d'un refroidissement immédiat, ainsi 84 expérimentations ont été effectués en trois répétitions.

Une suspension polysaccharidique de l'écorce de fruit de jujubier à raison de 10 g/l a été préparé dans de l'eau distillée et en trois essais (**figure 9a**), après une agitation les échantillons ont été filtrés (**figure 9b**) avant d'appliquer le traitement thermique.

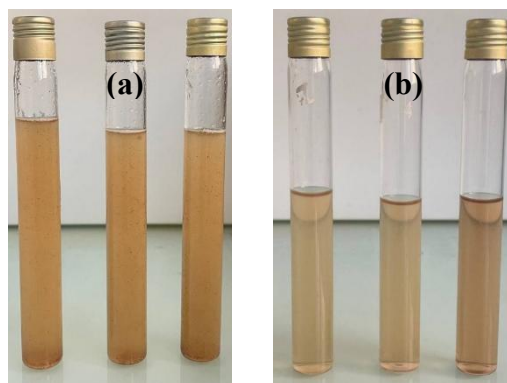


Figure 9 : photographie de la suspension polysaccharidique, de l'écorce de fruit de jujubier à 10 g/l, avant filtration (**a**), et après filtration (**b**).

II.5. Caractérisation des suspensions polysaccharides après application de traitement thermique

II.5.1. Mesure de potentiel hydrogène (pH)

Le potentiel hydrogène (pH) mesure l'activité chimique des ions hydrogènes (H⁺) en solution (**Djafer Amdjed, 2020**). La mesure du pH a été réalisée à l'aide d'un pH-mètre calibré, en utilisant une électrode qui a été immergée directement dans l'échantillon de 20ml refroidi après application de traitement thermique. La prise du pH a été effectuée après stabilisation de l'affichage numérique.

II.5.2. Mesure de la turbidité par spectrophotométrie UV-visible (NTU)

Un spectrophotomètre UV-visible Multiskan High Scan (Thermo Scientific) a été utilisé pour mesurer indirectement la turbidité des échantillons à une longueur d'onde de 700 nm. Les échantillons à analyser, récupérés après application de traitement thermique et refroidissent immédiat, ont été homogénéisés et leur absorbance a été mesurée en en trois essais. Les résultats ont été exprimés en unités de turbidité néphélométrique (NTU) en utilisant la courbe d'étalonnage de formazine. Les résultats finaux sont exprimés en turbidité relative (%) (**équation 2**).

$$\text{Turbidité relative}(\%) = \frac{\text{Turbidité}_t}{\text{Turbidité}_0} \times 100$$

Où :

*Turbidité*₀ : turbidité initial (avant application de traitement thermique),

*Turbidité*_t : turbidité a un temps de traitement thermique.

Chapitre III

Résultats et discussion

Chapitre III : résultats et discussion

Dans l'industrie alimentaire, où les polysaccharides sont utilisés comme épaississants, comprendre les cinétiques thermiques est concluant pour pouvoir optimiser les procédés de pasteurisation et/ ou de refroidissement, Ainsi l'évolution thermique de la suspension de polysaccharide de la poudre de l'écorce de fruit de jujubier, a été étudié pour la phase de chauffage et de la phase de refroidissement.

Les résultats obtenus suite à l'étude de l'impact de traitement thermique sur la stabilité des polysaccharides de la poudre de l'écorce de fruit de jujubier "*Ziziphus lotus (L.) lam.*". L'étude de la stabilité des polysaccharides de "*Ziziphus lotus (L.) lam.*" dispersés dans l'eau, durant une série de traitement thermique à 60, 70, 80 et 90 °C, a des pas du temps de 2, 6, 10, 15, 20, 25 et 30 minutes, ont été traités pour les paramètres évalués, à savoir le pH et la turbidité.

Une caractérisation par spectrophotomètre infrarouge à transformée de Fourier (FTIR), a été appliqué pour la poudre de l'écorce de fruit de jujubier seulement.

III.1. Caractérisation de la poudre de l'écorce de fruit de jujubier par spectrophotomètre infrarouge à transformée de Fourier (FTIR)

La caractérisation de la poudre de l'écorce de fruit de jujubier "*Ziziphus lotus (L.) lam.*" par spectrophotomètre infrarouge à transformée de Fourier (FTIR) est une méthode analytique puissante permettant d'identifier les groupes fonctionnels dominants et d'évaluer la composition chimique de l'échantillon (**Figure 10**).

La bande d'absorption à 3500 cm^{-1} (**Figure 10**), caractérise par une large bande d'absorption due aux vibrations d'élongation des groupements O-H des groupes hydroxyle provenant des composés phénoliques et de la pectine. Ces groupes confèrent à la pectine ses propriétés gélifiantes et sa capacité à retenir l'eau (**Wu et al., 2022**).

La région 3000–2800 cm^{-1} (**Figure 10**), est attribuée aux vibrations d'élongation C-H des groupes méthyle (-CH₃) et méthylène (-CH₂), probablement issues des polysaccharides, ces groupements sont indicatives des chaînes latérales de rhamnogalacturonane type I, composante clé de la pectine, confirmant ainsi la structure hétéro-polysaccharidique de la pectine, qui comprend des régions ramifiées riches en rhamnose et galactose, en accord avec les analyses de polysaccharides de fruits (**Wang et al., 2023**).

La région 1700–1600 cm^{-1} (**Figure 10**) est liée à la vibration d'élongation C=O des d'acides carboxyliques ou d'esters, les groupement C=C aromatiques absorbant dans la région 1600–1500 cm^{-1} confirment de la présence de composés phénoliques (**Wathoni et al., 2019**).

L'absorption dans la région $1300\text{--}1000\text{ cm}^{-1}$ (**Figure 10**), est associée à la vibration d'élongation de groupe C-O, indique la présence de polysaccharides tels que la cellulose et la pectine, cette région est également liée aux vibrations des liaisons glycosidiques, qui absorbent également entre 1000 et 840 cm^{-1} (**Song et al., 2024**).

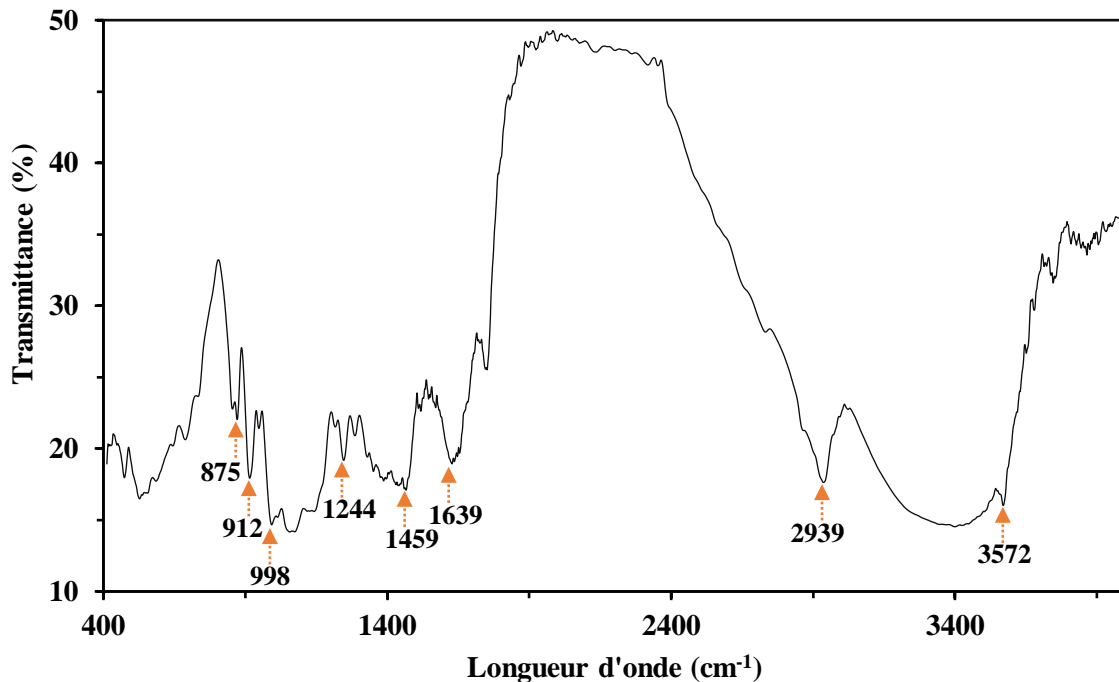


Figure 10 : Spectre FTIR pour la poudre de l'écorce de fruit de jujubier.

III.2. Historique thermique d'une suspension de polysaccharide de fruit de jujubier

L'évolution de la température dans la suspension polysaccharides de la poudre de l'écorce de fruit de jujubier, chauffée dans un bain-marie à $81,4\text{ °C}$ pendant 5 minutes et ensuite refroidie dans un bain de glace jusqu'à stabilité de la température (**Figure 11**), avait montré un profil thermique de deux phases :

Phase de chauffage : le profil thermique, révélant une montée de température allant de $31,4\text{ °C}$ ($T_{initial}$) à $t=0s$ jusqu'à $80,6\text{ °C}$ à $t=325s$ (**Figure 11**). La constante de chauffage $k \approx 0,0127\text{ (S}^{-1}\text{)}$, est calculée pour la phase de chauffage (0 - 325 s) en utilisant la loi de Newton adaptée :

$$T(t) = 81,4 - (81,4 - 31,4)e^{-0,0127t}$$

$$T(t) = 81,4 - 50,0e^{-0,0127t}$$

Phase de refroidissement : une chute de température de $72,6\text{ °C}$ (T_0) (**Figure 11**) qui commence à $t=330s$ jusqu'à $8,5\text{ °C}$ à $t=600s$, sachant que la température de bain de glace est de $5,1\text{ °C}$.

La constante de chauffage $k \approx 0,0111 \text{ (S}^{-1}\text{)}$, est calculée pour la phase de chauffage (0 - 325 s) en utilisant la loi de Newton adaptée :

$$T(t) = 5,1 + (72,6 - 5,1)e^{-0,0111t}$$

$$T(t) = 5,1 + 67,5e^{-0,0111t}$$

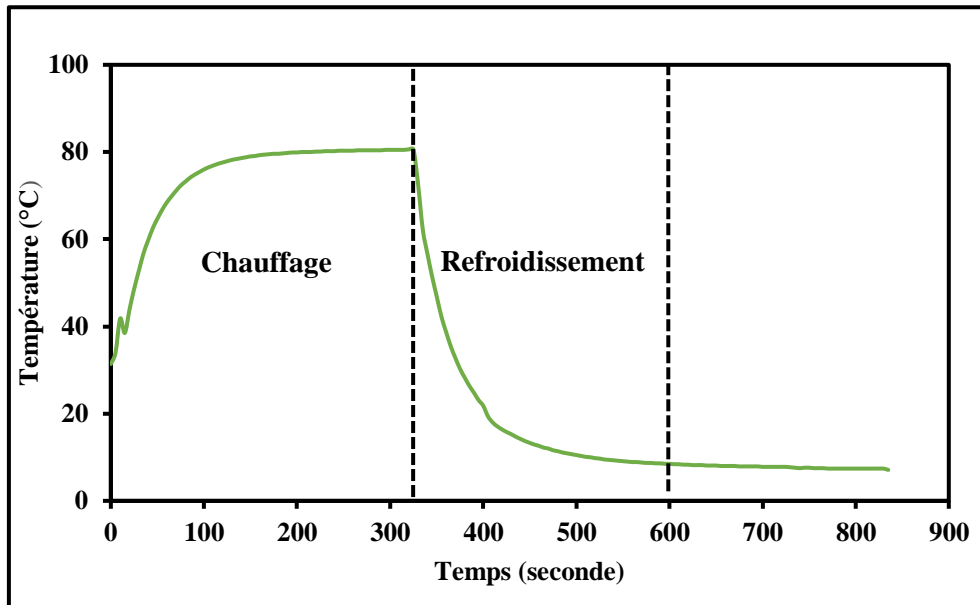


Figure 11 : le profil thermique (chauffage et refroidissement), à 80°C/5 minutes, d’une suspension polysaccharidique de la poudre de l’écorce de fruit de jujubier

Le **tableau 1** ci-dessous, regroupe les résultats des constantes de transfert thermique pour les phases de chauffage et de refroidissement.

Tableau 1 : les résultats des constantes de transfert thermique pour les phases de chauffage et de refroidissement.

<i>Phase</i>	<i>T_{initial} (°C)</i>	<i>T_{env} (°C)</i>	<i>Plage de données (s)</i>	<i>Durée (s)</i>	<i>k (S⁻¹)</i>	<i>Equation cinétique</i>
Chauffage	31,4	81,4	0 — 325	325	0,0127	$T(t) = 81,4 - 50,0e^{-0,0127t}$
Refroidissement	72,6	5,1	330 — 600	270	0,0111	$T(t) = 5,1 + 67,5e^{-0,0111t}$

T_{env} (°C) : température de bain marie lors de chauffage, et température de bain de glace lors de refroidissement.

Les valeurs de $k \approx 0,0127 \text{ (S}^{-1}\text{)}$, obtenues pour la phase de chauffage et $k \approx 0,0111 \text{ (S}^{-1}\text{)}$ pour la phase de refroidissement sont proches, indiquant des conditions similaires de transfert thermique pour les deux phases.

Cette cohérence est probablement justifiée par la faible concentration des polysaccharides dans une suspension (0,1 g de la poudre d'écorce de fruit de jujubier dans 10 ml d'eau distillé), ce qui suggère que les propriétés thermiques de la suspension sont dominées par celles de l'eau.

La légère différence entre $k_{chauffage}$ et $k_{refroidissement}$ peut être attribuée à des variations dans les conditions de convection en la température de bain-marie et de celle de bain de glace (**Tableau 1**), suggérant une convection plus efficace dans le bain-marie, favorisant un transfert thermique plus rapide (k plus légèrement plus élevé) par rapport au bain de glace, où la température stabilisée à 5,1 °C (plutôt que 0 °C) suggère une convection moins homogène, possiblement due à une fusion partielle de la glace ou à une agitation limitée.

Suite à ces résultats de profil thermique de la suspension des polysaccharides étudiée, il est à conclure que leur impact est négligeable sur les propriétés thermiques de la suspension, il est suggéré de varier les concentrations de la suspension des polysaccharides et d'étudier leur profil thermique à des concentrations plus élevées.

III.3. Caractérisation des suspensions polysaccharides après traitement thermique

L'écorce de fruit de "*Ziziphus lotus (L.) Lam.*", composée de polysaccharides, principalement de la pectine et de l'hémicellulose sont sensibles au traitement thermique, ainsi affectant leur structure, leur solubilité, leurs propriétés fonctionnelles (viscosité, gélification, activité biologique) (**Fraeye et al., 2010**).

III.3.1. Mesure de potentiel hydrogène (pH)

Les données montrent une diminution du pH avec l'augmentation de la température et du temps pour l'ensemble des traitements thermiques appliqués, avec une anomalie notable à 20 minutes (pH = 6,79 pour toutes les températures) (**Figure 12**).

Le pH à 60°C de traitement, diminue de pH = 7,35 (témoin) à pH = 6,08 après 30 minutes, avec une baisse notable dès 6–10 minutes (pH = 6,67 à 6,15). Cette diminution modérée est probablement cohérente avec une solubilisation initiale des pectines suivie d'une hydrolyse partielle, libérant des groupements acides comme l'acide galacturonique, sans dégradation significative des chaînes polymériques pour des durées courtes (**Fraeye et al., 2010**).

Le pH à 70°C reste relativement stable, passant de pH = 7,35 à 6,08 après 30 minutes de traitement (**Figure 12**), cette stabilité relative suggère que les polysaccharides résistent à 70 °C de traitement.

Pour un traitement appliqué à 80 °C, le pH diminue de 7,35 à 6,43 après 10 minutes, puis fluctue de pH= 7,00 (25 minutes) à pH = 6,69 (30 minutes) (**Figure 12**). Cette variabilité a probablement indiqué une dégradation thermique plus prononcée, avec une possible hydrolyse des liaisons glycosidiques des pectines, comme décrit par (**Fraeye et al., 2010**).

La remontée du pH à 25 minutes pourrait être liée à la dégradation de composés acides secondaires ou à des interactions possibles avec des polyphénols de “*Ziziphus lotus (L.) Lam.*” (**Hammi et al., 2015**).

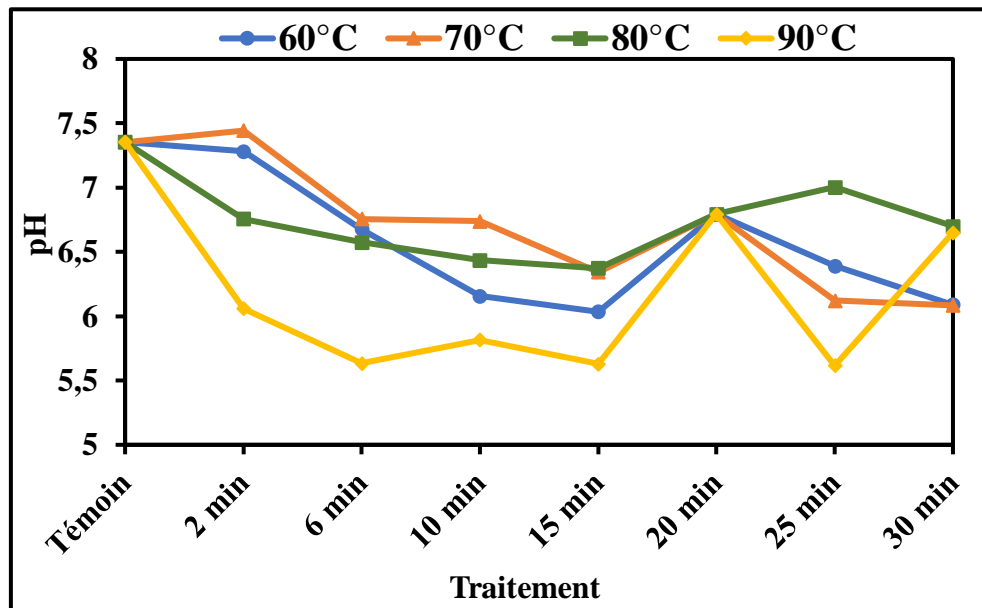


Figure 12 : Évolution du pH de la suspension d'écorce de “*Ziziphus lotus (L.) Lam.*” sous différents traitements thermiques.

A 90°C de traitement, le pH chute fortement de 7,35 à 5,63 après 6 minutes et atteint un minimum de pH = 5,61 à 25 minutes (**Figure 12**), probablement indiquant une dégradation thermique significative. Cette forte diminution est cohérente avec une hydrolyse thermique des polysaccharides, libérant des acides organiques (comme l'acide galacturonique) et entraînent une dépolymérisation rapide des pectines, surtout en milieu légèrement acide (**Deroeck et al., 2008**). La légère remontée à 30 minutes (pH = 6,65) pourrait indiquer une saturation des réactions d'hydrolyse ou une neutralisation partielle par des composés libérés.

Pour l'ensemble des traitement réalisés, une anomalie de valeur de pH (6,79) a été enregistrée (**Figure 12**), cela pourrait suggérer une interaction temporaire, comme la formation possible de complexes polysaccharide-polyphénol stabilisant le pH (**Jakobek, 2015**).

III.3.2. Mesure de la turbidité par spectrophotométrie UV-visible (NTU)

La turbidité mesure la dispersion de la lumière due aux particules en suspension (polysaccharides, complexes polysaccharide-polyphénol). Une turbidité accrue indique une solubilisation ou agrégation des polysaccharides, tandis qu'une diminution de turbidité suggère une dégradation thermique.

Pour un traitement à 60 °C (**Figure 13**), la turbidité relative (%) passe de 63,76 % (après 2 minutes de traitement) à 86,92 % après 30 minutes. La turbidité augmente initialement (jusqu'à 10 min), suggérant une solubilisation des polysaccharides, probablement des pectines.

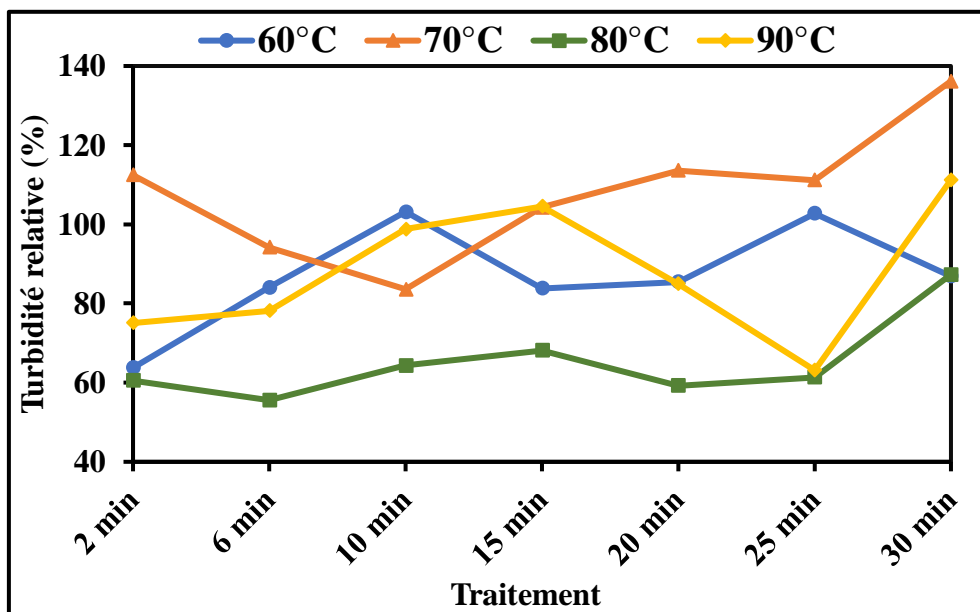


Figure 13 : Évolution de la turbidité relative (%) de la suspension d'écorce de '*Ziziphus lotus (L.) Lam.*' sous différents traitements thermiques.

Une légère diminution de la turbidité relative à 15–20 min (83,79 – 85,40 %) pourrait indiquer une hydrolyse modérée, cohérente avec une baisse du pH de 6,15 à 6,03 (10–15 minutes).

Suite à un traitement à 70°C, la turbidité relative (%) augmente de 112,45% (2 min) à 136,17 % (30 min) (**Figure 13**), cela indique probablement une solubilisation rapide des polysaccharides ou, une turbidité relative élevée à 30 min (136,17 %) suggère une dispersion stable avec une possible dégradation, cela est accompagné d'une baisse pH à 6,08 (30 min), indiquant une hydrolyse modérée.

Pour un traitement de 80 °C (**Figure 13**), la turbidité relative est la plus faible, variant de 55,57 % (6 min) à 87,33 % (30 min), la turbidité relative est relativement basse suggère une dégradation thermique plus prononcée, et ainsi limitant la diffusion de la lumière.

A 90 °C, la turbidité relative varie de 75,07 % (2 min) à 111,23 % (30 min), avec un et une baisse à 63,12 % (25 min). La turbidité relative augmente jusqu'à 15 minutes, probablement en raison de la dégradation thermique des polysaccharides. Une forte baisse à 25 min (63,12 %) est en accord avec un pH minimal (5,61), suggérant une hydrolyse extensive réduisant la taille des particules, limitant la turbidité. L'augmentation à 30 min (111,23 %) peut refléter une agrégation ou une précipitation tardive (**Figure 13**).

À 90 °C, la dépolymérisation est significative, compromettant les propriétés des polysaccharides.

Conclusion

Conclusion

Conclusion

Ce présent travail est porté sur l'étude de la stabilité des polysaccharides de la poudre d'écorce de fruit de jujubier '*Ziziphus lotus (L.) lam.*' dispersés dans l'eau. Le comportement thermique de la suspension d'écorce de fruit de jujubier et leur stabilité sous l'influence de différents traitements thermiques (60, 70, 80 et 90°C), pendant 2, 6, 10, 15, 20, 25 et 30 min pour chaque température.

Les résultats ont montré que les polysaccharides sont sensibles aux traitements thermiques appliqués, leur solubilité et leurs propriétés fonctionnelles sont affectées. Les paramètres évalués sont le pH et la turbidité. Les résultats avaient montré une diminution du pH avec l'augmentation de la température et du temps de traitement pour tous les traitements thermiques appliqués, avec une anomalie notable à 20 min (pH = 6,79 pour toutes les températures). Cette diminution modérée est probablement cohérente avec la dissolution initiale des pectines suivie d'une hydrolyse partielle.

La caractérisation par spectrophotomètre e infrarouge à transformée de Fourier (FTIR) a révélé que les bandes d'absorption caractéristiques de groupes fonctionnels tels que O-H, C-H, C=O et C-O, qui indiquent la présence de composés phénoliques, de chaînes de rhamnogalacturonane et de liaisons glycosidiques, soutiennent la structure complexe de la pectine et sa capacité à coaguler et à retenir l'eau.

Cette étude peut être considérée comme une ouverture d'horizons qui devrait servir à évaluer le fruit '*Ziziphus lotus (L.) lam.*', en mettant en évidence sa stabilité et ses fonctions dans divers domaines, telle la réparation industrielle.

Références

Bibliographiques

Références bibliographiques

- Abdoul-Azize, S., Bendahmane, M., Hichami, A., Dramane, G., Simonin, A.-M., Benammar, C., Sadou, H., Akpona, S., El Boustani, E.-S., & Khan, N. A. (2013). Effects of *Zizyphus lotus* L.(Desf.) polyphenols on Jurkat cell signaling and proliferation. *International immunopharmacology*, 15(2), 364-371.
- Adeli, M., & Samavati, V. (2015). Studies on the steady shear flow behavior and chemical properties of water-soluble polysaccharide from *Zizyphus lotus* fruit. *Int J Biol Macromol*, 72, 580-587. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2014.08.047>
- Azam-Ali, S. (2006). *Ber and other jujubes (Vol. 2). Crops for the Future.*
- Baba Aissa, F. (1991). *Les plantes médicinales en Algérie. coédition Bouchene et ad. Diwan, Alger, 29.*
- Batiot, B., Rogaume, T., Collin, A., & Richard, F. (2013). Investigation numérique de l'utilisation de la loi d'Arrhenius pour représenter la décomposition thermique des solides. CFM 2013-21ème Congrès Français de Mécanique,
- Borgi, W., & Chouchane, N. (2009). Anti-spasmodic effects of *Zizyphus lotus* (L.) Desf. extracts on isolated rat duodenum. *Journal of Ethnopharmacology*, 126(3), 571-573.
- Bridgwater, A. V. (2012). Review of fast pyrolysis of biomass and product upgrading. *Biomass and bioenergy*, 38, 68-94.
- Claudine, R. (2007). *Le nom de l'arbre: le gnenadier, le caroubier, le jujubier, le pistachier et l'arbousier. Actes sud le Majan, 1er Edition. France, 45-62.*
- Danthu, P., Soloviev, P., & Toure, M. (2000). La domestication du jujubier (*Zizyphus mauritiana* Lam.) au Sénégal: quelques résultats concernant sa propagation végétative.
- Darge, H. F., Andrgie, A. T., Tsai, H.-C., & Lai, J.-Y. (2019). Polysaccharide and polypeptide based injectable thermo-sensitive hydrogels for local biomedical applications. *International journal of biological macromolecules*, 133, 545-563.
- Deroeck, A., Sila, D., Duvetter, T., Vanloey, A., & Hendrickx, M. (2008). Effect of high pressure/high temperature processing on cell wall pectic substances in relation to firmness of carrot tissue. *Food Chemistry*, 107(3), 1225-1235. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2007.09.076>

Références bibliographiques

- El Hachimi, F., El Antari, A., Boujnah, M., Bendrisse, A., & Alfaiz, C. (2015). Comparaison des huiles des graines et de la teneur en acides gras de différentes populations marocaines de jujubier, de grenadier et de figuier de barbarie. *Journal of Materials and Environmental Science*, 6(5), 1488-1502.
- Fraeye, I., Duvetter, T., Doungla, E., Van Loey, A., & Hendrickx, M. (2010). Fine-tuning the properties of pectin–calcium gels by control of pectin fine structure, gel composition and environmental conditions. *Trends in Food Science & Technology*, 21(5), 219-228. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2010.02.001>
- Gawkowska, D., Cybulska, J., & Zdunek, A. (2018). Structure-related gelling of pectins and linking with other natural compounds: A review. *Polymers*, 10(7), 762.
- Ghedira, K. (2013). *Zizyphus lotus* (L.) Desf.(Rhamnaceae): jujubier sauvage. *Phytothérapie*, 11(3), 149-153.
- Ghedira, K. (2013). *Zizyphus lotus* (L.) Desf.(Rhamnaceae): jujubier sauvage. *Phytothérapie*, 11(3), 149-153.
- Ghosh, K., Takahashi, D., & Kotake, T. (2023). Plant type II arabinogalactan: Structural features and modification to increase functionality. *Carbohydrate research*, 529, 108828.
- Hammi, K. M., Jdey, A., Abdelly, C., Majdoub, H., & Ksouri, R. (2015). Optimization of ultrasound-assisted extraction of antioxidant compounds from Tunisian *Zizyphus lotus* fruits using response surface methodology. *Food chemistry*, 184, 80-89.
- Hammi, K. M., Jdey, A., Abdelly, C., Majdoub, H., & Ksouri, R. (2015). Optimization of ultrasound-assisted extraction of antioxidant compounds from Tunisian *Zizyphus lotus* fruits using response surface methodology. *Food Chem*, 184, 80-89. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2015.03.047>
- Jakobek, L. (2015). Interactions of polyphenols with carbohydrates, lipids and proteins. *Food Chem*, 175, 556-567. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2014.12.013>
- Ji, X., Peng, Q., Yuan, Y., Liu, F., & Wang, M. (2018). Extraction and physicochemical properties of polysaccharides from *Zizyphus Jujuba* cv. Muzao by ultrasound-assisted aqueous two-phase extraction. *Int J Biol Macromol*, 108, 541-549. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2017.12.042>

Références bibliographiques

- Jones, D. P., Park, Y., & Ziegler, T. R. (2012). Nutritional metabolomics: progress in addressing complexity in diet and health. *Annual review of nutrition*, 32(1), 183-202.
- Koné, B., Kalinganire, A., & Doumbia, M. (2009). *La culture du jujubier: un manuel pour l'horticulteur sahélien*. World Agroforestry Centre.
- Kuki, H., Yokoyama, R., Kuroha, T., & Nishitani, K. (2020). Xyloglucan is not essential for the formation and integrity of the cellulose network in the primary cell wall regenerated from *Arabidopsis* protoplasts. *Plants*, 9(5), 629.
- Lai, F., Wen, Q., Li, L., Wu, H., & Li, X. (2010). Antioxidant activities of water-soluble polysaccharide extracted from mung bean (*Vigna radiata* L.) hull with ultrasonic assisted treatment. *Carbohydrate Polymers*, 81(2), 323-329.
- Leroy, V. (2007). *Contribution à la modélisation des feux de forêt: Cinétique de dégradation thermique et Cinétique de combustion des végétaux* Université Pascal Paoli].
- Li, Z., & Pan, X. (2018). Strategies to modify physicochemical properties of hemicelluloses from biorefinery and paper industry for packaging material. *Reviews in Environmental Science and Bio/Technology*, 17, 47-69.
- Lindman, B., Karlström, G., & Stigsson, L. (2010). On the mechanism of dissolution of cellulose. *Journal of molecular liquids*, 156(1), 76-81.
- Liu, M., & Zhao, Z. (2008). Germplasm resources and production of jujube in China. I *International Jujube Symposium* 840,
- Liu, Z., Jiao, Y., Wang, Y., Zhou, C., & Zhang, Z. (2008). Polysaccharides-based nanoparticles as drug delivery systems. *Advanced drug delivery reviews*, 60(15), 1650-1662.
- Lounnas, L., & Nadji, K. (2020). *Les propriétés nutritionnelles, antioxydantes et thérapeutiques du fruit de jujube (Zizyphus jujuba)* Université Mouloud Mammeri].
- Maraghni, M., Gorai, M., & Neffati, M. (2010). Seed germination at different temperatures and water stress levels, and seedling emergence from different depths of *Zizyphus lotus*. *South African Journal of Botany*, 76(3), 453-459.
- Pérez, S. (2000). *Structure et morphologie de la cellulose*. *Initiation à la Science des Polymers; Centre de Recherches sur les Macromolécules Végétales—CNRS—Associé à l'Université Joseph Fourier: Grenoble, France*, 1-43.

Références bibliographiques

- Quezel, P., & Santa, S. (1962). *Nouvelle flore de l'Algérie et des régions désertiques méridionales*: Éditions du Centre National de la Recherche Scientifique.
- Quezel, P., & Santa, S. (1963). *Nouvelle flore de l'Algérie et des régions désertiques méridionales*. Eds. du Centre Nat. de la Recherche Scientifique.
- Rais, C., Lazraq, A., Houhou, M., Elhanafi, L., Fennane, A., El Ghadraoui, L., Mansouri, I., & Louahlia, S. (2017). Morphometrics and morphological comparative study of three natural populations of *Zizyphus lotus*. *RESEARCH JOURNAL OF PHARMACEUTICAL BIOLOGICAL AND CHEMICAL SCIENCES*, 8(1), 1558-1564.
- Ridley, B. L., O'Neill, M. A., & Mohnen, D. (2001). Pectins: structure, biosynthesis, and oligogalacturonide-related signaling. *Phytochemistry*, 57(6), 929-967.
- Rinaudo, M., & Domard, A. (1989). Chitin and chitosan. Skjask-Break, G., Anthonsen, T., Sandfjord, P., Eds.
- Roy, P., Amdekar, S., Kumar, A., & Singh, V. (2011). Preliminary study of the antioxidant properties of flowers and roots of *Pyrostegia venusta* (Ker Gawl) Miers. *BMC Complementary and Alternative Medicine*, 11, 1-8.
- Samavati, V. (2013). Polysaccharide extraction from *Abelmoschus esculentus*: Optimization by response surface methodology. *Carbohydrate Polymers*, 95(1), 588-597.
- Simopoulos, A. P. (2008). The importance of the omega-6/omega-3 fatty acid ratio in cardiovascular disease and other chronic diseases. *Experimental biology and medicine*, 233(6), 674-688.
- Soldi, V. (2004). Stability and degradation of polysaccharides. *Polysaccharides: Structural diversity and functional versatility*, 395-409.
- Song, F., Ning, F., Feng, Y., Zhang, Y., Gong, F., Ning, C., Yu, Y., Zhang, R., Han, R., Qi, Y., Meng, M., & Sun, H. (2024). The polysaccharides from blackened jujube with ultrasonic assistance extraction: Optimization of extraction conditions, antioxidant activity and structural analysis. *Lwt*, 213. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2024.117077>
- Sudhersan, C., & Ashkanani, J. (2008). Introduction, evaluation and propagation of *Zizyphus* In Kuwait. I International Jujube Symposium 840,

Références bibliographiques

- Tahmouzi, S., & Ghodsi, M. (2014). Optimum extraction of polysaccharides from motherwort leaf and its antioxidant and antimicrobial activities. *Carbohydrate Polymers*, 112, 396-403.
- Thakur, B. R., Singh, R. K., Handa, A. K., & Rao, M. (1997). Chemistry and uses of pectin— A review. *Critical Reviews in Food Science & Nutrition*, 37(1), 47-73.
- Wang, N., Li, Q., Liu, M., Liu, M., & Zhao, Z. (2023). Structural characterization of alkali-extracted jujube polysaccharides and their effects on the fecal microbiota in vitro. *Lwt*, 184. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2023.115087>
- Wathoni, N., Yuan Shan, C., Yi Shan, W., Rostinawati, T., Indradi, R. B., Pratiwi, R., & Muchtaridi, M. (2019). Characterization and antioxidant activity of pectin from Indonesian mangosteen (*Garcinia mangostana* L.) rind. *Heliyon*, 5(8), e02299. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2019.e02299>
- Williams, P. A., & Phillips, G. O. (2004). *Gums and stabilisers for the food industry* 12 (Vol. 12). Royal Society of Chemistry.
- Wu, B., Qiu, C., Guo, Y., Zhang, C., Li, D., Gao, K., Ma, Y., & Ma, H. (2022). Comparative Evaluation of Physicochemical Properties, Microstructure, and Antioxidant Activity of Jujube Polysaccharides Subjected to Hot Air, Infrared, Radio Frequency, and Freeze Drying. *Agriculture*, 12(10). <https://doi.org/10.3390/agriculture12101606>
- Yolmeh, M., & Jafari, S. M. (2017). Applications of response surface methodology in the food industry processes. *Food and bioprocess technology*, 10(3), 413-433.
- Yui, T., & Ogawa, K. (2005). X-ray diffraction study of polysaccharides. *Polysaccharides: Structural diversity and functional versatility*, 99-122.
- Zamorano, J. (2006). Carraghénanes: agents gélifiants, épaississants et stabilisants. *Techniques de l'ingénieur. Agroalimentaire*, 3(F5080).
- Zhang, L., Liu, X., Wang, Y., Liu, G., Zhang, Z., Zhao, Z., & Cheng, H. (2017). In vitro antioxidative and immunological activities of polysaccharides from *Zizyphus Jujuba* cv. Muzao. *International journal of biological macromolecules*, 95, 1119-1125.
- Zhang, W., Xu, P., & Zhang, H. (2015). Pectin in cancer therapy: A review. *Trends in Food Science & Technology*, 44(2), 258-271.