

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

MINISTRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

UNIVERSITE 20 AOÛT 1955 SKIKDA

FACULTE DE TECHNOLOGIE

DÉPARTEMENT DE GÉNIE DES PROCÉDÉS



Mémoire

En vue de l'obtention du diplôme de

MASTER

Filière : Génie des procédés

Spécialité : Génie de l'environnement

**Extraction et caractérisation d'un biopolymère à
base de chitosane extrait de carapace de crevette**

Soutenu le/06/2023

Réalisé par : Charim Chaima

Encadré par : (MCA) Ammouchi Nesrine

Naceur Sid Ahmed Nadir

(PhD) Bouzenad Nawal

Année Universitaire 2022- 2023

Remercîment

Nous tenons d'abord à remercier ALLAH le tout puissant qui nous a donné la force, le courage et la patience d'accomplir ce modeste travail.

En second lieu, nos vifs remerciements vont aux membres du jury, d'avoir accepté d'examiner ce travail.

Nous tenons à remercier notre encadreur **Dr Ammouchi Nesrine** et **Bouzenad Nawal**, pour Orientation, la confiance, et la patience, son aide et ses conseils ont été précieux durant la période du travail.

Nos sincères remerciements vont également à tous les professeurs qui nous ont enseigné.

Nous ne saurions oublier les ingénieurs de laboratoire **Karim** , **Houda** et **Sabra**, nos sincères remerciements pour leurs encouragements pendant l'élaboration de notre travail.

Dédicace

Je dédie ce mémoire :

A ma défunte mère pour son amour sa sagesse sa tendresse, ses encouragements et ses sacrifices.

A mon père pour son soutien, et la confiance qu'il m'a accordée.

A mon frères Abderrahmane mon pilier.

A mes meilleures amies : Rayane, Raya, Maissa, Kenza, Nada, Noussaiba, mes fidèles amies qui ont été présent à mes cotes dans les bons et mauvais moments.

A tous les membres de ma famille et toute personne qui porte le nom **CHARIM** et **BENDJAMA**, je dédie ce travail à tous ceux qui ont participé à ma réussite.

En fin, je remercie mon binôme, Sid Ahmed Nadir, qui a contribué à la réalisation de ce modeste travail.

Dédicace

Avec une sensation de détermination ambitieuse et courageuse j'ai conduit mon rêve vers la réalité. Avec une immense fierté et l'expression de ma reconnaissance du profond de mon cœur

Je dédie ce travail :

A ma chère mère

A mon cher père

Qui n'ont jamais cessé de formuler des prières à mon égard, de me soutenir et de m'épauler pour que je puisse atteindre mes objectifs et diriger vers la gloire. Aucune dédicace ne saurait exprimer mon respect, mon amour éternel et ma considération pour les sacrifices qu'ils ont consenti pour mon instruction et bien être.

A mes deux frères Sid Ali et Nawfel et ma sœur Nada que dieu les protège et leurs offre la chance et le bonheur.

A ma grande mère mes oncles et mes tantes.

A tous mes chères amies pour leurs soutiens moraux, encouragement.

Sans oublier mon binôme Chaima je la remercie pour sa patience et sa compréhension tout au long de ce projet.

Liste des abréviations

ATR : Attenuated Total Reflectance

CO₂ : le dioxyde de carbone

FTIR : Spectroscopie infrarouge a transformé de Fourier

HPLC : chromatographie en phase liquide à haute performance

NH₂ : amine

PBS : le succinate de poly butylène

PC : le polycarbonate

PCL : polycaprolactone

PE : le polyéthylène

PEF : le furanoate de polyéthylène

PGA : les esters d'acide poly glycolique

PHA : polyhydroxyalcanoates

PHB : le polyhydroxybutyrate

PHV : le polyhydroxyvalérate

PLA : poly lactique

PP : le polypropylène

PS : polystyrène

Liste des tableaux

Tableau IV.1 : Les rendements d'extractions	40
Tableau IV.2 : Dosage physique des carapaces de crevettes et du chitosane	41
Tableau IV.3 : Dosage chimique des carapaces de crevettes et du chitosane	41
Tableau IV.4 : Nombre d'onde et type de vibration de la composition du chitosane	43
Tableau IV.5 : Composition chimique du chitosane par FRX	45

Liste des figures

Figure I.1 : Les différentes variétés des polysaccharides.....	4
Figure I.2 : Structure chimique de l'amidon.....	5
Figure I.3 : Structure chimique de la chitine.....	5
Figure I.4 : Structure chimique de la pectine.....	6
Figure I.5 : Structure chimique du chitosane.....	6
Figure II.1 : Les types de bioplastiques.....	16
Figure II.2 : Le processus de biodégradation aérobie.....	21
Figure III.1 : Localisation GPS du restaurant "comme chez vous".....	27
Figure III.2 : Prétraitement des carapaces de crevettes.....	28
Figure III.3 : Procédé d'extraction de chitosane.....	28
Figure III.4 : Etuve pour teneur en matière sèches.....	31
Figure III.5 : Four à moufle.....	31
Figure III.6 : Dispositif pour la détermination de l'azote kjeldahl.....	32
Figure III.7 : Soxtherme pour la détermination de la teneur en lipide.....	33
Figure III.8 : Spectroscopie par rayonnement infrarouge.....	36
Figure III.9 : Dispositif de spectroscopie par fluorescence X.....	37
Figure III.10 : Microscope optique.....	38
Figure III.11 : Banc Kofler.....	38
Figure IV.1 : Spectre infrarouge du chitosane.....	42
Figure IV.2 : Profil du taux de solubilité.....	44
Figure IV.3 : Résidu du biopolymère après hydrolyse.....	45
Figure IV.4 : Détermination de la température de fusion au banc kofler.....	46
Figure IV.5 : Vue microscopique du chitosane.....	46

Table des matières

Liste des abréviations

Liste des figures

Liste des tableaux

Introduction générale 1

Chapitre I

I.1. Introduction 4

I.2. Définition des polysaccharides 4

I.3. Différents types de polysaccharides 4

I.3.1. Amidon 5

I.3.2. Chitine 5

I.3.3. La pectine 5

I.3.4. Le chitosane 6

I.4. Généralité sur le chitosane 6

I.4.1. Historique 6

I.4.2. Définition et structure chimique du chitosane 7

I.4.3. Propriété du chitosane 7

I.4.4. Propriété physico chimiques 7

I.4.5. Propriétés chimiques 8

I.5. Méthodes d'extraction de la chitine et du chitosane 10

I.5.1. Extraction acide 10

I.5.2. Extraction alcaline 10

I.5.3. Extraction enzymatique 10

I.5.4. Extraction assistée par ultrasons 11

I.5.5. Extraction assistée par micro-ondes 11

I.6. Méthodes par voie chimique du chitosane 11

I.7. Méthode par voie enzymatique du chitosane 12

I.8. Domaines d'application de la chitine et du chitosane 12

I.9. Conclusion 13

Chapitre II

II.1. Introduction 16

II.2. Définition d'un biopolymère 16

II.3. Type des biopolymères 16

II.3.1. Les polymères pétrochimiques	17
II.3.2. Polymères bio sources	17
II.3.3. Les biopolymères d'origine bactérienne	18
II.3.4. Bio polymères d'origine végétale et animale	19
II.4. Différentes familles de bio polymères	19
II.4.1. Les polysaccharides	20
II.4.2. Les protéines	20
II.4.3. Les acides nucléiques	20
II.4.4. Les lipides	20
II.5. Propriétés des biopolymères	20
II.5.1. Biodégradabilité	20
II.5.2. Perméabilité à la vapeur d'eau des biopolymères	21
II.5.3. biocompatibilité et biorésorbabilité des biopolymères	22
II.6. Propriétés chimiques des biopolymères	22
II.6.1. Hydrophilie	23
II.6.2. Liaisons covalentes	23
II.6.3. Structures hélicoïdales.....	23
II.6.4. Polymères ramifiés.....	23
II.6.5. Capacité d'auto-assemblage	23
II.6.6. Sensibilité aux enzymes	23
II.7. Les avantages et inconvénient	23
II.7.1. Les Avantages des biopolymère	23
II.7.2. Les inconvénients des biopolymère	24
II.8. Domaine d'application	24
II.8.1. Application dans l'emballage	24
II.8.2. Applications médicales.....	24
II.8.3. Applications agricoles	25
II.8.3.1. Films de paillage agricoles	25
II.8.3.2. Libération contrôlée de produits chimiques pour l'agriculture.....	25
II.8.3.3. Godets pour plants.....	25
II.9. Conclusion.....	25
Chapitre III	
III.1. Introduction	27
III.2. Présentation du matériel animal	27
III.3. Prétraitement des carapaces de crevettes	27

III.4. Procédé d'extraction de la chitosane	28
III.4.1. Déminéralisation.....	29
III.4.2. Déprotéinisation.....	29
III.4.4. Désacétylation	30
III.5. Caractérisation du chitosane.....	30
III.5.1. Détermination du rendement	30
III.5.2. Détermination de la matière sèche.....	30
III.5.3. Détermination de la teneur en cendres	31
III.5.4. Détermination de la teneur en protéines brutes	32
III.5.4.1. La minéralisation	32
III.5.4.2. La distillation.....	32
III.5.4.3. La titration	32
III.5.5. Détermination de la teneur en lipides	33
III.5.6. Dosage des carbohydrates	34
III.5.7. Dosage des sulfates.....	34
III.5.8. Dosage des protéines totales.....	35
III.5.9. Spectroscopie infrarouge à transformée de Fourier (FTIR).....	35
III.5.10. Le degré de désacétylation (DDA) du chitosane	36
III.5.11. Test de solubilité de la chitosane	36
III.5.12. La spectrométrie de fluorescence X (XRF).....	37
III.5.13. Microscope optique.....	37
III.5.14. Déterminer la température de fusion.....	38

Chapitre IV

IV.1. Introduction.....	40
IV.2 Composition chimique.....	40
IV.2.1. Le rendement d'extraction	40
IV.2.2. Caractérisation physique	40
IV.2.3. Caractérisation chimique	41
IV.3. Caractérisation structurale et chimique du chitosane	42
IV.3.1. Spectroscopie a transformé de Fourier	42
IV.3.2. Détermination du degré de désacétylation (DD%).....	43
IV.3.3. Test de solubilité.....	44
IV.3.4. La fluorescence des rayons X.....	45
IV.3.5. Point de fusion.....	45
IV.3.6. Caractérisation par le microscope optique (OM)	46

Conclusion générale	48
Référence bibliographique	50

Introduction générale

Introduction générale

Introduction générale

Les biopolymères sont considérés comme une solution potentielle pour lutter contre la pollution environnementale, en particulier dans le contexte de la pollution plastique. Les biopolymères sont des polymères d'origine naturelle ou renouvelable, par opposition aux polymères synthétiques dérivés de ressources non renouvelables telles que le pétrole.

Les biopolymères offrent des avantages potentiels en tant qu'alternatives plus durables aux polymères synthétiques dans la lutte contre la pollution environnementale. Cependant, une approche globale et multidimensionnelle est nécessaire pour résoudre efficacement les problèmes de pollution, en prenant en compte différents aspects tels que la réduction à la source, le recyclage et la gestion responsable des déchets

Parmi les biopolymères les plus connus sont ceux à base de polysaccharides ont attiré beaucoup d'attention en raison de leurs propriétés uniques et de leurs applications potentielles dans divers domaines, y compris l'industrie alimentaire, l'industrie pharmaceutique, la médecine, l'emballage et les matériaux biomédicaux

Les polysaccharides les plus couramment étudiés et utilisés incluent la cellulose, l'amidon, la chitine, l'acide hyaluronique, l'agar-agar et la gomme arabique. Ces polysaccharides sont généralement extraits de sources naturelles, tels que les plantes, les crustacés, les algues ou les bactéries, et peuvent ensuite être modifiés chimiquement ou enzymatiquement pour obtenir les propriétés souhaitées

On peut citer le chitosane comme biopolymère qui est un biopolymère polycationique non toxique, biodégradable et biocompatible, soluble dans les acides organiques dilués sous forme de gel chargé positivement (*Rabetafika et al.,2006*). Le chitosane a donc des propriétés chimiques et biologiques utilisables dans de nombreuses applications industrielles, médicales et environnementales (*Siham,2021*).

C'est dans ce contexte que notre travail s'oriente. On se propose d'extraire la chitine de la carapace de la crevette, puis l'extraction de la chitosane à partir de la chitine dans le but d'une utilisation éventuellement après caractérisation

Ce travail est subdivisé en trois chapitres

- ✓ **Le premier chapitre** présente une étude bibliographique portant sur les polysaccharides plus précisément le chitosane, et la chitine ;
- ✓ **Le deuxième chapitre** décrit les différents types de biopolymères et leurs caractéristiques respectives ;

Introduction générale

- ✓ **Le troisième chapitre** décrit la zone d'échantillonnage, le procédé d'extraction du biopolymère et les méthodes de caractérisation ;
- ✓ **Le quatrième chapitre** résumé les résultats obtenu durant notre étude.
Ce travail se termine par une **conclusion générale**

Chapitre I

I.1. Introduction

Les polysaccharides se trouvent dans une grande variété de sources naturelles, notamment les plantes, les algues, les bactéries et les animaux. Ils remplissent différentes fonctions biologiques en fonction de leur structure chimique et de leur organisation. Ils jouent un rôle important dans de nombreux processus biologiques. Ils peuvent servir de réserves d'énergie à long terme, de matériaux structuraux, de composants de reconnaissance cellulaire et de régulateurs de processus biologiques tels que la coagulation sanguine et le système immunitaire

I.2. Définition des polysaccharides

Une macromolécule appelée polysaccharide est constituée de plusieurs unités de monosaccharides (ou sucres simples) liées entre elles par des liaisons glycosidiques (*Benaoun.,2017*). Les polysaccharides, qui sont des glucides complexes, peuvent être trouvés dans une variété d'aliments d'origine végétale, comme céréales, légumes, fruits et graines (*Nicole et al.,2013*). L'organisme remplit de nombreuses tâches importantes avec les polysaccharides, notamment en tant que sources d'énergie, en contribuant à la structure des cellules et en contribuant au système immunitaire. L'amidon, la cellulose et le glycogène sont des polysaccharides.

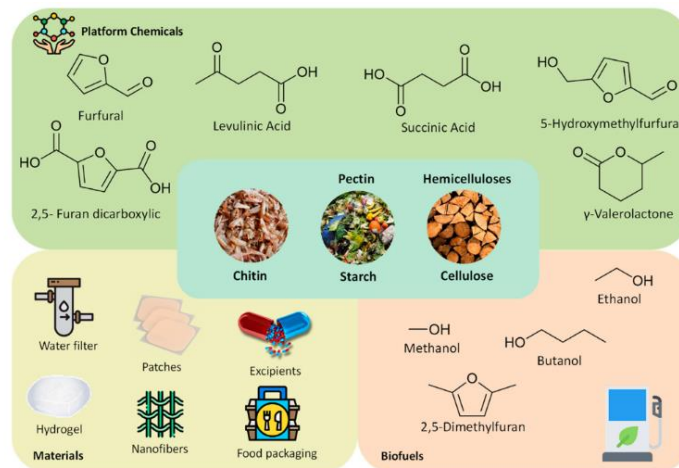


Figure I.1 : Les différentes variétés des polysaccharides

I.3. Différents types de polysaccharides

Les polysaccharides sont des molécules composées de carbone, hydrogène et oxygène. Ils peuvent être classés en différentes catégories (*Guy-Grand.,2008*). Telles que :

I.3.1. Amidon

Un polysaccharide composé de glucose qui sert de stockage d'énergie pour les plantes. Les enzymes amylase et maltase le digèrent (*Rebstein et al.,2011*).

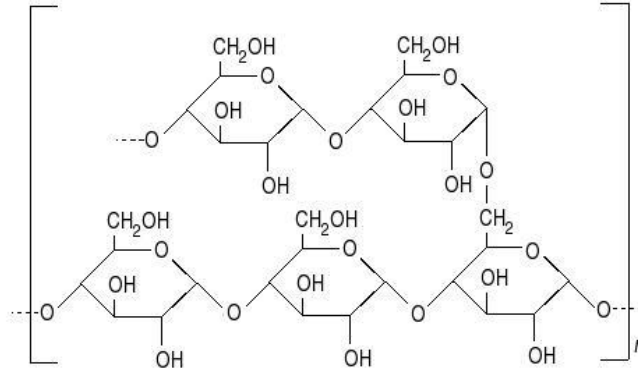


Figure I.2 : Structure chimique de l'amidon

I.3.2. Chitine

Un polysaccharide structural qui se trouve à la fois dans la paroi cellulaire des champignons et dans l'exosquelette des invertébrés. Il contient du N-acétylglucosamin (*Gasmi et al.,2017*).

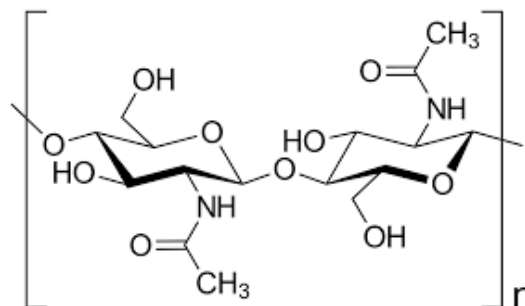


Figure I.3 : Structure chimique de la chitine

I.3.3. La pectine

Il s'agit d'un polysaccharide soluble dans l'eau qui se trouve dans les parois cellulaires des plantes (*Chouana.,2017*). Il est principalement composé de l'acide galacturonique et de ses sels, qui comprennent le calcium, le potassium et le sodium (*Jean.,2009*). L'industrie alimentaire utilise fréquemment la pectine pour épaissir et stabiliser les aliments comme les gelées et les confitures (*Laouana et al.,2021*).

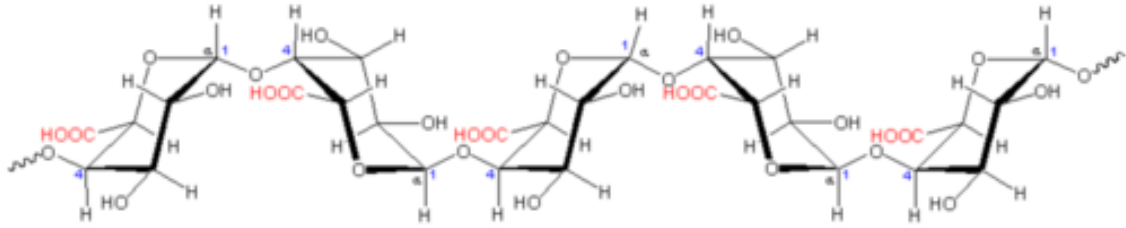


Figure I.4 : Structure chimique de la pectine

I.3.4. Le chitosane

Est un polysaccharide qui provient de la chitine, un polymère qui se trouve naturellement dans les carapaces de crustacés comme les crabes et les crevettes (*Magnin.,2009*). La dés acétylation, qui élimine une partie des groupes acétyle, est utilisée pour convertir la chitine en chitosane (*Haddache et al.,2020*).

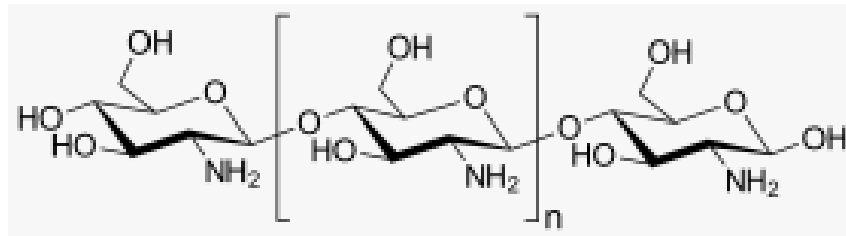


Figure I.5 : Structure chimique du chitosane

Bien qu'elle ne soit pas soluble dans l'eau, la chitosane est soluble dans les acides dilués. Elle est utilisée dans une variété d'applications industrielles, telles que la fabrication de films alimentaires et de bioplastiques, ainsi que dans des applications médicales, telles que la régénération tissulaire et la cicatrisation des plaies.

I.4. Généralité sur le chitosane

I.4.1. Historique

Le chitosane date de la découverte de la chitine en 1811 par le chimiste français Henri Braconnot (*Crini et al.,2009*). Au fil du temps, les chercheurs ont découvert que la déacétylation (l'élimination des groupes acétyle de la chitine) peut être utilisée pour transformer la chitine en chitosane, un polymère plus soluble dans l'eau.

Les propriétés distinctives du chitosane ont été étudiées pour la première fois dans les années 1970 et 1980 (*BENMAHIEDDINE et al.,2016*). En raison de ses propriétés antimicrobiennes, antioxydants, biocompatibles et biodégradables, il a été utilisé dans une variété d'applications (*Laouana et al.,2021*).

Le chitosane est actuellement utilisé dans un large éventail d'applications industrielles, y compris en médecine, en agriculture, en alimentation, en cosmétique et dans d'autres domaines. Les pansements médicaux, les adhésifs, les films comestibles pour la conservation des aliments, les additifs alimentaires et les compléments nutritionnels (*Marouf et al.,2021*).

I.4.2. Définition et structure chimique du chitosane

La déacétylation de la chitine, qui implique l'élimination de certains groupes acétyle, est le processus par lequel le chitosane est produit (*Haddache et al.,2020*). Par conséquent, le chitosane est un polymère composé de glucosamine et de N-acétylglucosamine (*Kheldaoui et al.,2014*). La déacétylation peut être partielle ou totale, ce qui produit des chitosanes ayant différentes caractéristiques (*Zemmouri.,2008*).

Le chitosane a une structure chimique similaire à celle de la cellulose, avec des unités répétitives de glucosamine liées par des liaisons β -1,4 (*Gasmi et al.,2017*). Cependant, le chitosane, contrairement à la cellulose, contient un groupe amine ($-NH_2$) sur chaque unité de glucosamine, ce qui lui confère des propriétés distinctives (*Tahari.,2022*).

En raison de la présence de ces groupes amine, le chitosane est soluble dans les acides faibles mais insoluble dans l'eau et les alcalis forts (*GACEM.,2021*).

I.4.3. Propriété du chitosane

Il convient de noter que les propriétés du chitosane peuvent varier en fonction de divers facteurs, y compris la source, la méthode de production et la structure du polymère (*Zemmouri.,2008*). Il existe plusieurs caractéristiques du chitosane, telles que :

I.4.4. Propriété physico chimiques

Les propriétés physico-chimiques d'une substance sont des caractéristiques mesurables qui sont liées à sa composition chimique et à sa structure moléculaire (*Prana.,2013*). Les propriétés d'une substance peuvent être utilisées pour l'identifier et la caractériser. Ils peuvent également aider à comprendre comment elle réagit dans diverses conditions physiques et chimiques (*Calvet.,2003*).

Voici quelques exemples de caractéristiques physico-chimiques typiques :

- **La masse molaire** : d'une substance est définie en grammes par mole (g/mol) (*Hattab.,2022*).

- **Point de fusion** : la température à laquelle une substance devient liquide après avoir quitté l'état solide (*Combette et al.,2005*).
- **Point d'ébullition** : la température à laquelle une substance passe de l'état liquide à l'état gazeux.
- **Densité** : la masse d'une substance par volume unitaire (*Lapointe-Vignola.,2002*).
- **Solubilité** : la capacité d'un composé à se dissoudre dans un solvant spécifique (*Bégin et al.,2002*).
- **Conductivité électrique** : la capacité d'un matériau à produire de l'électricité (*Tagrerout.,2023*).
- **Capacité calorifique** : la quantité d'énergie nécessaire pour faire augmenter une quantité donnée de substance à une température spécifique d'une unité de température.
- **Réactivité** : la probabilité qu'une substance réagisse avec d'autres substances.

Pour comprendre comment les substances interagissent entre elles et avec leur environnement (*Jouzel et al.,2013*), ce qui est important dans de nombreux domaines de la science, tels que la chimie, la physique, la biologie et la médecine, ces propriétés physico-chimiques peuvent être utilisées (*Rolland.,2013*).

I.4.5. Propriétés chimiques

Le chitosane, un polymère naturellement réactif, possède des propriétés distinctives qui le rendent intéressant pour une variété d'applications, notamment dans les domaines biomédicaux, alimentaires et environnementaux. Quelques-unes de ses propriétés chimiques sont les suivantes :

➤ **Solubilité**

Bien que le chitosane ne puisse pas être dissous dans l'eau, il peut être dissous dans des solutions acides, où il subit une protonation (*Salvé.,2020*). Il peut donc être dissous dans des acides comme l'acide formique, l'acide chlorhydrique dilué et l'acide acétique (*Bouhadoun.,2015*).

➤ **Réactivité**

Le chitosane, un polymère réactif, a la capacité d'être modifié chimiquement pour développer des propriétés particulières (*Mekideche et al.,2020*). Par exemple, il peut être réticulé pour former des hydrogels, ou il peut être modifié avec des groupes fonctionnels pour

améliorer ses propriétés antimicrobiennes ou ses capacités de liaison aux métaux (*Crini et al.,2009*).

➤ Charge

En solution acide, le chitosane a une charge positive en raison de la protonation de ses groupes amine (*Arkoun.,2017*). Cette charge peut être utilisée pour créer des complexes avec des molécules chargées négativement, comme des protéines ou des acides nucléiques (*Tonelli.,2013*).

➤ Dégradation

Les enzymes comme la chitinase et le lysozyme dégradent le chitosane, ce qui le rend intéressant pour les applications biomédicales (*Lacombe-Harvey.,2011*).

➤ Adhérence

Le chitosane possède la capacité de former des liaisons hydrogène avec les surfaces cellulaires, ce qui le rend utile dans les applications liées à l'adhérence cellulaire et à la régénération des tissus (*Mighri.,2016*).

I.4.6. Propriété biologiques du chitosane

Le chitosane peut être un matériau utile dans de nombreux domaines, tels que la médecine, la biotechnologie et l'environnement, en raison de ses propriétés biologiques. Quelques-unes des propriétés biologiques du chitosane sont les suivantes (*Crini et al.,2009*).

➤ Biocompatibilité

Le chitosane est biocompatible, ce qui signifie qu'il fonctionne bien avec les tissus biologiques et ne provoque pas d'effets allergiques ou immunitaires.

➤ Activité antimicrobienne

Les propriétés antimicrobiennes du chitosane peuvent tuer ou empêcher la croissance de bactéries, de virus et de champignons (*Malki et al.,2015*).

➤ Activité anti tumorale

De plus, l'étude du chitosane a été menée en raison de son potentiel anti tumoral, qui signifie qu'il peut aider à prévenir ou à traiter les tumeurs cancéreuses.

➤ Capacité de régulation de la croissance cellulaire

De plus, le chitosane peut réguler la croissance cellulaire, ce qui peut aider à la régénération tissulaire et à la cicatrisation des plaies (*Dupasquier.,2011*).

➤ Capacité d'adsorption des métaux lourds

La capacité du chitosane à adsorber les métaux lourds peut être bénéfique pour le traitement de l'eau et la dépollution (*Abdallah.,2020*).

➤ Biodégradabilité

Le chitosane est un matériau respectueux de l'environnement car il est biodégradable, ce qui signifie que les organismes vivants peuvent le décomposer naturellement (*Crini et al.,2009*).

I.5. Méthodes d'extraction de la chitine et du chitosane

La chitine et le chitosane peuvent être extraits de différentes sources de manière différente. Voici quelques-unes des méthodes les plus courantes (*Guézennec.,2014*).

I.5.1. Extraction acide

Dans cette méthode, des acides forts comme l'acide chlorhydrique ou l'acide sulfurique sont utilisés pour dissoudre les éléments minéraux et organiques des carapaces d'insectes ou de crustacés, laissant la chitine pure. La chitine est ensuite déacétylée partiellement pour produire du chitosane. Bien qu'elle soit efficace, cette méthode peut être coûteuse et nécessite des précautions de sécurité lors de la manipulation des acides (*Ammar.,2007*).

I.5.2. Extraction alcaline

Cette méthode utilise une solution alcaline, comme l'ammoniac ou la soude, pour dissoudre les protéines et autres composants organiques des carapaces d'insectes ou de crustacés, laissant la chitine pure. Bien que cette méthode soit moins coûteuse que l'extraction acide, elle peut nuire à la chitine et nécessite des précautions de sécurité lors de la manipulation de substances alcalines.

I.5.3. Extraction enzymatique

Cette méthode utilise des enzymes pour décomposer les composants organiques des carapaces d'insectes ou de crustacés, laissant la chitine pure (*Boufas,2021*). Cette méthode est

plus douce que les techniques acide et alcaline et peut être utilisée pour produire du chitosane avec un degré précis de déacétylation (*Ben Zerrouk.,2017*).

I.5.4. Extraction assistée par ultrasons

Cette méthode utilise des ondes sonores à haute fréquence pour décomposer les carapaces d'insectes ou de crustacés, ce qui libère la chitine (*Cabane.,2012*). Cette méthode est rapide et efficace, mais elle peut être coûteuse et nécessite un équipement spécialisé (*Truffot-Pernot et al.,2011*).

I.5.5. Extraction assistée par micro-ondes

Dans cette méthode, les micro-ondes sont utilisées pour dissoudre les composants organiques des carapaces d'insectes ou de crustacés, ce qui laisse la chitine pure. Bien qu'elle soit rapide et efficace, cette méthode peut également être coûteuse et nécessiter un équipement spécialisé (*Szymanowicz et al.,2005*).

Il est important de garder à l'esprit que les méthodes d'extraction peuvent différer en fonction de la source de la chitine ou du chitosane utilisée, et que chaque méthode peut être plus appropriée pour une variété d'applications.

I.6. Méthodes par voie chimique du chitosane

Les étapes à suivre pour obtenir du chitosane par voie chimique sont les suivantes (*Mezrag.,2022*).

- **Extraction de la chitine :** À l'aide d'acides forts comme l'acide chlorhydrique, la chitine est extraite des parois cellulaires de champignons ou des carapaces de crustacés (*Haddache et al.,2020*).
- **Déprotéinisation de la chitine :** La chitine est traitée avec une solution de soude caustique pour enlever les groupes acétyle, ce qui forme le chitosane (*Oudjer et al.,2013*). La déacétylation peut être contrôlée en ajustant le temps et la température du traitement (*Boukhari.,2019*).
- **Purification du chitosane** Le chitosane obtenu est ensuite purifié à l'aide de différentes techniques, telles que la dialyse, l'ultrafiltration, la centrifugation ou la précipitation par un solvant non miscible.
- **Caractérisation du chitosane** Ensuite, des techniques d'analyse telles que la diffraction des rayons X, la spectroscopie infrarouge ou la chromatographie en phase

liquide à haute performance (HPLC) sont utilisées pour caractériser le chitosane obtenu (*Chenchana.,2019*).

Il est important de noter que la voie chimique utilisée pour produire du chitosane utilise des acides forts et des bases fortes qui peuvent être dangereux et nécessitent une manipulation appropriée, ce qui peut avoir un impact significatif sur l'environnement (*Larous Liela.,2015*). Des méthodes alternatives, comme la fabrication de chitosane à partir de déchets de crustacés, peuvent être plus respectueuses de l'environnement.

I.7. Méthode par voie enzymatique du chitosane

La production de chitosane par voie enzymatique est une méthode efficace et respectueuse de l'environnement pour produire du chitosane de haute qualité à partir de la chitine. Les principales étapes de cette méthode sont les suivantes :

- **Extraction de la chitine :** La chitine est extraite des coquilles de champignons ou des carapaces de crustacés (*Iman.,2018*).
- **Déproteïnisation :** Les polymères de chitine sont transformés en polymères de chitosane après avoir été traités avec un agent alcalin (*Nouani.,2016*).
- **Hydrolyse enzymatique :** Une chitosanase spécifique procède ensuite à l'hydrolyse enzymatique du polymère de chitosane, qui clive les liaisons glycosidiques pour produire des oligomères de chitosane de différentes tailles (*Zitouni.,2013*).
- **Purification :** La filtration, la centrifugation et le séchage sont ensuite utilisés pour purifier les oligomères de chitosane (*Dumont.,2016*).
- **Caractérisation :** Des techniques analytiques telles que la chromatographie et la spectroscopie sont utilisées pour déterminer la pureté, la masse moléculaire et la distribution de taille des oligomères de chitosane (*Aljawish.,2013*).

Une méthode efficace pour produire du chitosane à partir de la chitine est la méthode par voie enzymatique. Cette méthode peut être utilisée pour produire du chitosane de haute qualité avec des propriétés spécifiques pour des applications dans divers domaines tels que la médecine, L'alimentation, l'environnement et l'agriculture (*Refifi.,2020*).

I.8. Domaines d'application de la chitine et du chitosane

Les propriétés uniques de la chitine et de la chitosane les rendent utiles dans de nombreux contextes, y compris :

➤ Les soins de santé

Le chitosane est utile dans les pansements, les sutures, les implants médicaux, les revêtements de cathéters et d'autres dispositifs médicaux en raison de ses propriétés antimicrobiennes, anti-inflammatoires et hémostatiques (*Valdivia.,2018*).

➤ L'agriculture

Le chitosane est un biostimulant, un insecticide naturel et un amendement du sol (*Djian-Caporalino et al.,2008*). Il peut également être utilisé pour améliorer la qualité des fruits et légumes et prolonger leur durée de conservation (*Silue.,2022*).

➤ L'industrie alimentaire

Le chitosane peut être ajouté aux aliments pour améliorer leur texture, leur stabilité et leur conservation. Il peut également être utilisé pour filtrer et clarifier les boissons et les jus de fruits (*BOKO et al.,2014*).

➤ L'industrie cosmétique

Pour ses propriétés hydratantes, adhésives et filmogènes, le chitosane peut être utilisé comme ingrédient dans les produits de soins de la peau, les produits capillaires et les cosmétiques (*Aljawish.,2013*).

➤ L'industrie textile

Le chitosane peut être utilisé pour créer des fibres textiles antimicrobiennes, résistantes aux taches et aux odeurs.

➤ L'industrie environnementale

Le chitosane peut être utilisé pour filtrer les eaux usées, nettoyer les sols contaminés et améliorer la biodégradabilité des plastiques (*Ouarda.,2014*).

Grâce à leurs propriétés distinctives et à leur origine naturelle et renouvelable, la chitine et le chitosane ont de nombreuses applications potentielles dans une variété d'industries et de domaines (*Amrane Safa.,2021*).

I.9. Conclusion

En résumé, les polysaccharides sont des macromolécules complexes qui jouent un rôle crucial dans la biologie des organismes vivants. Leur diversité structurale et leurs propriétés

fonctionnelles en font des composés essentiels dans de nombreux domaines, de la nutrition à l'industrie, en passant par la médecine.

Chapitre II

II.1. Introduction

Avec le développement extraordinaire des biopolymères, les polyesters biodégradables tels que le PLA sont devenus des matériaux révolutionnaires pour l'industrie du textile et de l'habillement. Son principal avantage est qu'ils sont obtenus à partir de ressources renouvelables 100% riches en amidon comme le maïs, la betterave à sucre ou la pomme de terre, les algues ou encore les carapaces de crabe ou de crevette (*Kurek et al.,2022*). De plus, ils sont non toxiques, biodégradables et possèdent des propriétés mécaniques très intéressantes comparables à celles des polymères conventionnels (*Hacen., 2017*).

II.2. Définition d'un biopolymère

Les biopolymères sont des polymères (molécules composées d'unités structurales similaires répétées plusieurs fois) produits par des organismes vivants (*Crini et al.,2009*). Les biopolymères peuvent être naturels ou synthétiques, mais les biopolymères naturels sont produits par des organismes vivants tels que les plantes, les animaux et les micro-organismes (*Nouani.,2016*). Ces polymères naturels comprennent des composés tels que les protéines, l'ADN, l'ARN, les polysaccharides et les lipides (*Voet et al.,2016*). Les biopolymères sont utilisés dans une grande variété d'applications, y compris l'industrie alimentaire, les produits pharmaceutiques, les cosmétiques, les matériaux de construction, les textiles et bien d'autres (*Megherbi.,2021*).

II.3. Type des biopolymères

Les biopolymères sont des polymères d'origine biologique produits par des organismes vivants. Ils peuvent être divisés en plusieurs types (*Rutot et al.,2004*).

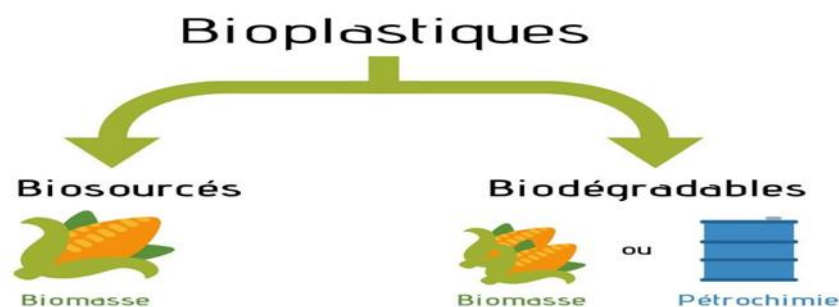


Figure II.6 : Les types de bioplastiques

II.3.1. Les polymères pétrochimiques

Les polymères pétrochimiques sont des polymères synthétiques issus de la pétrochimie (*Rutot et al.,2004*). Ces polymères sont fabriqués à partir de monomères produits à partir de matières premières pétrolières telles que le pétrole brut ou le gaz naturel.

Les polymères pétrochimiques les plus couramment utilisés sont le polyéthylène (PE), le polypropylène (PP), le polystyrène (PS) et le polycarbonate (PC) (*Saidi et al.,2020*). Ces polymères sont largement utilisés dans la fabrication de produits tels que les emballages, les textiles, les appareils électroniques, les matériaux de construction, les jouets et les produits de soins personnels (*Guesmia et al.,2022*).

Cependant, les polymères pétrochimiques ont un impact significatif sur l'environnement, notamment en ce qui concerne leur production, leur utilisation et leur élimination. La production de polymères pétrochimiques est énergivore et génère des émissions de gaz à effet de serre, tandis que leur utilisation contribue à la pollution des déchets plastiques (*Lévesque Riopel.,2022*).

Par conséquent, il existe une demande croissante pour des alternatives plus durables aux polymères pétrochimiques, tels que les biopolymères et les polymères d'origine renouvelable.

II.3.2. Polymères bio sources

Les polymères biosourcés sont des polymères fabriqués à partir de matières premières renouvelables d'origine biologique telles que des plantes, des micro-organismes ou des animaux. Contrairement aux polymères synthétiques issus d'énergies fossiles, les polymères biosourcés sont plus durables et ont un impact environnemental moindre tout au long de leur cycle de vie (*Gélinas.,2014*).

Certains exemples de polymères biodérivés comprennent l'acide polylactique (PLA), le polyhydroxyalcanoate (PHA), le succinate de polybutylène (PBS), le furanoate de polyéthylène (PEF) et les esters d'acide polyglycolique (PGA). Ces polymères sont utilisés dans une variété d'applications, notamment les emballages alimentaires, les textiles, les matériaux de construction, les cosmétiques et les produits médicaux (*Rutot et al.,2004*).

Les avantages des polymères biosourcés incluent leur capacité à réduire la dépendance aux énergies fossiles, à réduire l'impact environnemental, la biocompatibilité, la biodégradabilité et la recyclabilité. Cependant, leur production peut nécessiter l'utilisation de

grandes quantités d'eau et de terres arables, et peut avoir des impacts environnementaux négatifs si elle n'est pas produite de manière responsable (*Gélinas.,2014*).

II.3.3. Les biopolymères d'origine bactérienne

Les biopolymères bactériens, également appelés biopolymères microbiens, sont des polymères produits par des micro-organismes tels que des bactéries (*Chalkiadakis.,2013*). Ces polymères sont utilisés dans une variété d'applications industrielles, telles que la production de films, de revêtements et d'emballages durables et biodégradables.

Les exemples les plus connus de biopolymères bactériens sont le polyhydroxybutyrate (PHB) et le polyhydroxyvalérate (PHV) (*Cavaille.,2015*). Le PHB est produit par des bactéries telles que *Bacillus megaterium* et les eutrophies du gène Alkali, et le PHV est produit par des bactéries telles que *Pseudomonas oleovorans* et *Pseudomonas acidovorans*.

Ces biopolymères ont des propriétés similaires aux plastiques traditionnels, mais ils sont biodégradables, ce qui les rend plus respectueux de l'environnement (*Laifa.,2016*). De plus, ils peuvent être produits à partir de ressources renouvelables telles que le glucose et les huiles végétales, ce qui les rend également plus durables (*Didderen.,2008*).

Ainsi, les biopolymères bactériens ont un grand potentiel en tant qu'alternatives écologiques aux plastiques conventionnels dans de nombreuses applications industrielles (*Givry.,2006*).

Les biopolymères synthétiques sont les polymères artificiels fabriqués à partir de matières premières biologiques. Ils sont généralement constitués de sucres, d'amidon, de cellulose ou d'huiles végétales (*Rutot et al.,2004*).

Le PLA, également connu sous le nom d'acide polylactique, est le biopolymère synthétique le plus connu, qui est fabriqué à partir d'amidon de maïs ou de canne à sucre et est souvent utilisé comme alternative écologique au plastique conventionnel. Le PHA (polyhydroxyalcanoates), le PBS (polybutylène succinate) et le PCL (polycaprolactone) sont d'autres exemples de biopolymères synthétiques (*Kurek et al.,2022*).

Les biopolymères synthétiques sont souvent considérés comme plus respectueux de l'environnement que les polymères synthétiques conventionnels car ils peuvent être produits à partir de sources renouvelables et sont biodégradables (*Abid et al.,2022*). Cependant, ils ont plusieurs inconvénients, notamment des coûts de production plus élevés et une résistance moindre à la chaleur et à la lumière (*Soupart-Caron.,2015*).

II.3.4. Bio polymères d'origine végétale et animale

Les bio polymères sont des polymères d'origine biologique, qui peuvent être synthétisés par des plantes, des animaux ou des micro-organismes (*Chalkiadakis.,2013*). Les bio polymères d'origine végétale et animale sont deux types de bio polymères différents (*Vissac et al.,2017*).

Les polysaccharides tels que la cellulose, l'amidon et la lignine sont des exemples de biopolymères d'origine végétale. Les propriétés intéressantes de ces biopolymères incluent la biodégradabilité, la biocompatibilité et la faible toxicité (*Amrane Safa.,2021*).

Ils sont fréquemment utilisés dans la fabrication de bioplastiques, de matériaux d'emballage biodégradables, de textiles et d'autres produits écologiques (*Deghiche et al.,2021*).

Les protéines comme le collagène et la kératine et les polysaccharides comme la chitine et la chitosane sont des exemples de biopolymères d'origine animale. Ces bio polymères sont fréquemment utilisés dans l'industrie alimentaire pour créer des gélifiants et des émulsifiants, ainsi que dans la fabrication de cosmétiques, de textiles et de matériaux médicaux (*Laouana et al.,2021*).

Les bio polymères d'origine végétale sont généralement considérés comme plus durables et écologiques que les bio polymères d'origine animale cause leur fabrication nécessite moins de ressources et ne pose pas de problèmes éthiques liés à l'utilisation de produits animaux.

Cependant, les deux type de bio polymères ont des applications importantes dans divers domaines et sont étudiés pour leur potentiel en tant que matériaux durables et respectueux de l'environnement (*Ouedraogo.,2019*).

II.4. Différentes familles de bio polymères

Les organismes vivants produisent des polymères naturels appelés biopolymères (*Vissac et al.,2017*). Ils sont constitués de monomères organiques qui sont reliées par des liaisons covalentes (*Weiss.,2010*). Les principales familles de biopolymères sont les suivantes :

II.4.1. Les polysaccharides

Sont des polymères de glucides comme la chitine, la cellulose et l'amidon. Ils sont fréquemment utilisés pour construire et stocker des plantes et des animaux (*Ouedraogo et al.,2021*).

II.4.2. Les protéines

Sont des polymères d'acides aminés tels que l'hémoglobine, la kératine et le collagène (*Harboul.,2009*). Les protéines effectuent de nombreuses tâches dans les organismes, telles que le transport de l'oxygène, la protection immunitaire et la catalyse des réactions chimiques (*Cano et al.,2006*).

II.4.3. Les acides nucléiques

Sont des polymères de nucléotides comme l'ARN et l'ADN. Ils participent à la transmission de données génétiques et à la synthèse de protéines (*Voet et al.,2016*).

II.4.4. Les lipides

Sont des molécules hydrophobes, comme les stérols, les acides gras et les phospholipides (*Cuvelier et al.,2004*). Les lipides sont les éléments essentiels des membranes cellulaires et remplissent également une fonction de stockage d'énergie (*Hopkins.,2003*). Les polyphénols, les polyesters, les polyuréthanes, les polyhydroxyalcanoates (PHA) et d'autres sorts de biopolymères existent en addition de ces types de base (*Messebel et al.,2018*).

II.5. Propriétés des biopolymères

Les organismes vivants produisent des polymères naturels appelés biopolymères (*Vissac et al.,2017*). Ils diffèrent des polymères synthétiques par leurs propriétés distinctives (*Cardayet al.,2015*). Voici quelques exemples de ces qualités (*Brun et al.,2005*).

II.5.1. Biodégradabilité

Les biopolymères sont des polymères synthétiques ou naturels provenant de sources renouvelables telles que les bactéries, les algues et les plantes (*El Hadji Babacar.,2008*). Ils sont souvent considérés comme biodégradables cause ils peuvent être décomposés par des micro-organismes naturels de l'environnement, tels que les bactéries, les champignons et les algues (*Azizen.,2021*).

Cependant, de nombreux facteurs, y compris la structure chimique du polymère, les circonstances environnementales et le processus de dégradation lui-même, déterminent la

biodégradabilité des biopolymères (*Deroiné, 2014*). Par exemple, certains biopolymères sont plus résistants à la dégradation que d'autres, tandis que certaines variables environnementales telles que le pH, la température et l'humidité peuvent accélérer ou ralentir le processus de biodégradation.

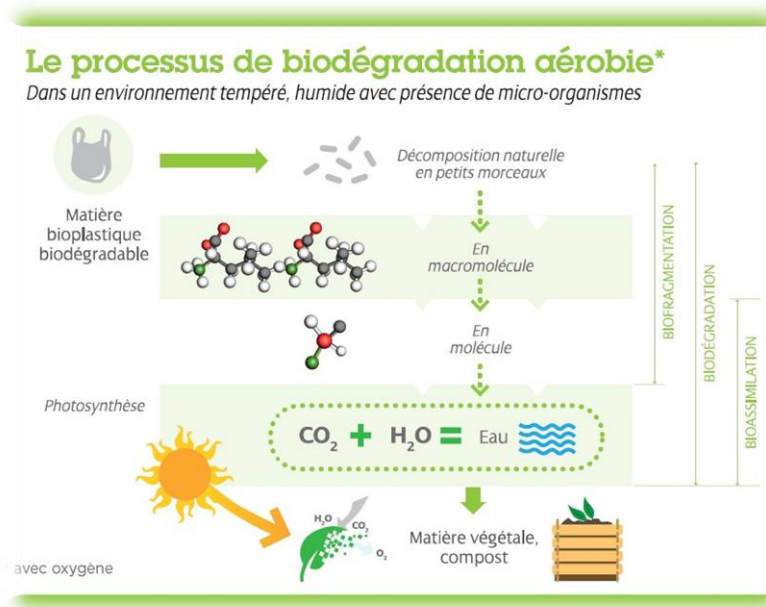


Figure II.7 : Le processus de biodégradation aérobie

Il est également important de noter que la biodégradation des biopolymères peut entraîner la formation de sous-produits tels que le méthane et le dioxyde de carbone, qui, s'ils sont libérés en grandes quantités, peuvent avoir un effet négatif sur l'environnement (*Albrecht, 2007*). Par conséquent, il est crucial de prendre en compte les avantages et les inconvénients de l'utilisation des biopolymères dans divers contextes, en tenant compte des facteurs de biodégradabilité ainsi que des effets plus larges sur l'environnement et la société.

II.5.2. Perméabilité à la vapeur d'eau des biopolymères

De nombreux facteurs, y compris la structure chimique, la morphologie, la composition et la taille des polymères, déterminent la perméabilité des biopolymères à la vapeur d'eau (*Khalil, 2015*). En raison de leur structure plus poreuse et de leur capacité à absorber l'eau, les biopolymères ont généralement une perméabilité à la vapeur d'eau plus élevée que les polymères synthétiques.

En raison de leur perméabilité à la vapeur d'eau, les biopolymères tels que la cellulose, la chitine, la chitosane et l'amidon sont largement utilisés dans les industries alimentaire, pharmaceutique et cosmétique. Ils sont fréquemment utilisés pour fabriquer des

films et des emballages qui doivent être perméables à la vapeur d'eau afin d'éviter que les aliments ne condensent et ne se détériorent (*Chenniki.,2015*).

Cependant, les traitements peuvent modifier la perméabilité des biopolymères à la vapeur d'eau (*Hasnaoui.,2018*).

II.5.3. biocompatibilité et biorésorbabilité des biopolymères

Les propriétés de biocompatibilité et de biorésorbabilité des biomatériaux sont cruciales lorsqu'ils sont utilisés dans la fabrication de dispositifs médicaux, de prothèses et d'implants.

La capacité d'un matériau à interagir avec les tissus biologiques sans causer de dommages est appelée biocompatibilité. Comme ils sont d'origine naturelle et ont une structure similaire aux tissus biologiques, les biopolymères sont souvent biocompatibles. Cependant, divers facteurs, y compris la taille et la forme du matériau, sa composition chimique et sa surface, peuvent affecter sa biocompatibilité (*Mrad.,2007*).

La capacité d'un matériau à être dégradé et éliminé par les processus biologiques normaux du corps est appelée biorésorbabilité (*Ginsac.,2011*). En raison du fait que les enzymes du corps dégradent fréquemment les biopolymères, ils sont souvent biorésorbables (*Vert.,2003*). Cependant, le mécanisme de dégradation et la vitesse dépendent du type de biopolymère utilisé, de la forme et de la taille du matériau (*Boukherchef et al.,2020*).

La biorésorbabilité et la biocompatibilité ne sont pas toujours liées (*Vert.,2003*). Une substance peut être biocompatible mais non biorésorbable, or elle peut être biocompatible mais non biorésorbable (*Jordana et al.,2017*).

En conclusion de compte, la sélection d'un biopolymère pour un usage en biomatériau dépendra des propriétés spécifiques requises pour l'application envisagée, ainsi que de la capacité du matériau à répondre aux exigences réglementaires.

II.6. Propriétés chimiques des biopolymères

Les polymères naturels créés par des organismes vivants tels que les plantes, les animaux et les micro-organismes sont appelés biopolymères (*Aljawish., 2013*). En raison de leur structure moléculaire et de la façon dont ils interagissent avec leur environnement, ils ont les propriétés chimiques distinctes. Quelques propriétés chimiques des biopolymères (*Line.,2007*).

II.6.1. Hydrophilie

La majorité des biopolymères ont une affinité pour l'eau car ils sont hydrophiles (*Salager et al.,2001*). Ils peuvent absorber beaucoup d'eau, ce qui les rend utiles pour la libération de médicaments comme les hydrogels (*Rolland.,2013*).

II.6.2. Liaisons covalentes

Les biopolymères sont constitués de liaisons covalentes, qui sont des liaisons fortes entre les atomes. Cela augmente la stabilité et la résistance chimique des biopolymères (*Aljawish.,2013*).

II.6.3. Structures hélicoïdales

Les structures hélicoïdales de certains biopolymères, tels que l'ADN et les protéines, leur confèrent la capacité de stocker et de transmettre des informations génétiques (*Brut,M.,2009*)

II.6.4. Polymères ramifiés

Certains biopolymères, comme l'amidon, sont des polymères ramifiés, ce qui leur donne des propriétés telles que la solubilité et la digestibilité (*Chiker et al.,2022*).

II.6.5. Capacité d'auto-assemblage

La capacité des biopolymères à s'auto-assembler dans structures complexes et fonctionnelles telles que les membranes cellulaires et les fibres musculaires est connue (*Bascetin.,2014*).

II.6.6. Sensibilité aux enzymes

Les enzymes spécifiques du corps dégradent fréquemment les biopolymères, ce qui permet leur recyclage et leur élimination (*Lüllmann-Rauch.,2008*).

II.7. Les avantages et inconvénient

II.7.1. Les Avantages des biopolymère

Les principaux avantages des biopolymères sont les suivants (*Ahmad.,2013*).

- Neutre en ce qui concerne le cycle CO₂
- Une grande gamme de biopolymères à disposition
- Les ressources sont abondamment renouvelables

- Les processus traditionnels (extrusion, extrusion gonflage, injection, thermoformage) peuvent les transformer.
- Très bonne valeur ajoutée (*Sait.,2019*).

II.7.2. Les inconvénients des biopolymère

- Le prix de vente est élevé en raison de la faible production et du coût.
- Caractéristiques physiques parfois limitées (*Beeker.,2014*).
- La biodégradabilité de un concept peu structuré sur le plan international et nécessite des normes et des lois.
- Le compostage industriel des déchets biopolymériques provenant de pays peu développés.
- L'un des inconvénients les plus importants de ces bio polymères de leur coût de revient élevé, qui est d'environ 7,5 € par kg.

II.8. Domaine d'application

Les biopolymères sont utilisés dans de nombreux domaines et industries en raison de leurs propriétés mentionnées. L'emballage, la médecine et l'agriculture sont les principaux domaines d'application (*Raggab Roufaida.,2021*).

II.8.1. Application dans l'emballage

L'utilisation continue des plastiques traditionnels dans le domaine de l'emballage entraîne un problème de gestion et d'élimination des déchets, ce qui permet aux matériaux biopolymères de s'accaparer d'une large part dans ce secteur toujours en croissance en raison de leur biocompatibilité. Ils sont utilisés dans l'emballage alimentaire, industriel et médical en raison de leur biodégradabilité, recyclabilité et impact barrière. L'utilisation des matériaux bio polymères dans des secteurs particuliers est renforcée par leur transparence et leur résistance aux sollicitations mécaniques.

II.8.2. Applications médicales

Dans ce secteur, l'utilisation des biomatériaux nécessite une très bonne maîtrise de la technologie thérapeutique (*Bioy.,2014*). Par conséquent, l'utilisation d'un matériau biosourcé dans un corps vivant nécessite une connaissance approfondie de la relation contrôlée entre les propriétés mécaniques et le temps de dégradation. Ces bio polymères sont utilisés dans le greffage vasculaire, les peaux artificielles, les fils de suture chirurgicales et les systèmes de libération contrôlée de médicaments (*Mokaddem et al.,2014*).

II.8.3. Applications agricoles

L'utilisation des polymères en agriculture a augmenté depuis l'introduction des films plastiques en 1930-1940 comme films agricoles (les serres agricoles). Il a plusieurs utilisations :

- la libération contrôlée de nutriments et de pesticides ;
- le conditionnement du sol
- Protéger les graines ;
- la préservation des plantes (*Nicole et al.,2013*).

II.8.3.1. Films de paillage agricoles

Les cultivateurs utilisent des films plastiques pour stimuler la croissance des plantes et, lorsqu'ils se photodégradent dans les champs, cela évite le coût du ramassage (*Raggab Roufaida.,2021*).

Ces films maintiennent l'humidité, réduisent les mauvaises herbes et augmentent la température du sol (*Stévoux.,2005*).

L'objectif est d'augmenter la croissance des plantes (*Gate.,2007*).

II.8.3.2. Libération contrôlée de produits chimiques pour l'agriculture

Le polymère est utilisé pour la libération de produits chimiques pour contrôler leur taux de libération, leur période d'utilisation, leur mobilité et leur efficacité (*Ladj Minost.,2012*).

II.8.3.3. Godets pour plants

Ces godets pour plantes sont fabriqués en poly (caprolactame) et sont biodégradables car ils sont utilisés pendant une courte période (*Ledoux.,2008*).

II.8. Conclusion

En somme, les biopolymères sont des matériaux fascinants avec des propriétés chimiques uniques qui ont été utilisés dans de nombreux domaines, tels que la médecine, l'agriculture et l'industrie alimentaire.

Chapitre III

III.1. Introduction

Dans ce chapitre nous aborderons différents points suivants dont la méthode d'extraction et transformation chimique de la chitine en chitosane, et la caractérisation physico chimique de ce dernier, telles que son degré de désacétylation et sa solubilité. Une caractérisation par la spectroscopie infrarouge FTIR et par fluorescence des rayons X. Cette partie comprend également : étude de la température de fusion, et la morphologie par microscope optique.

II.2. Présentation du matériel animal

Le matériel animal de la présente d'étude est les carapaces de crevettes ont été ramenées d'un restaurant nommée « Comme chez vous » située à Stora. Sachant que ces dernières sont pêchées dans le bassin méditerranéen au niveau de la wilaya de Skikda en Algérie, dont la localisation géographique est comprise entre latitude : 36.9025500, longitude : et 6.8779400. L'altitude moyenne de Stora et d'environ 8 mètres.



Figure III.8 : Localisation GPS du restaurant "comme chez vous"

II.3. Prétraitement des carapaces de crevettes

Une masse des crevettes ont été soigneusement décortiquées, puis lavées plusieurs fois avec de l'eau de robinet, ensuite à l'eau distillée, puis mise à bouillir dans de l'eau distillée cette étape permet d'éliminer la matière grasse contenue dans les carapaces de crevettes. Puis elles sont égoutter et mise à séchées à l'air libre pendant 48h. Pour terminer les exosquelettes des crevettes sont broyer finement à l'aide d'un broyeur électrique pour l'obtention d'une poudre fine.

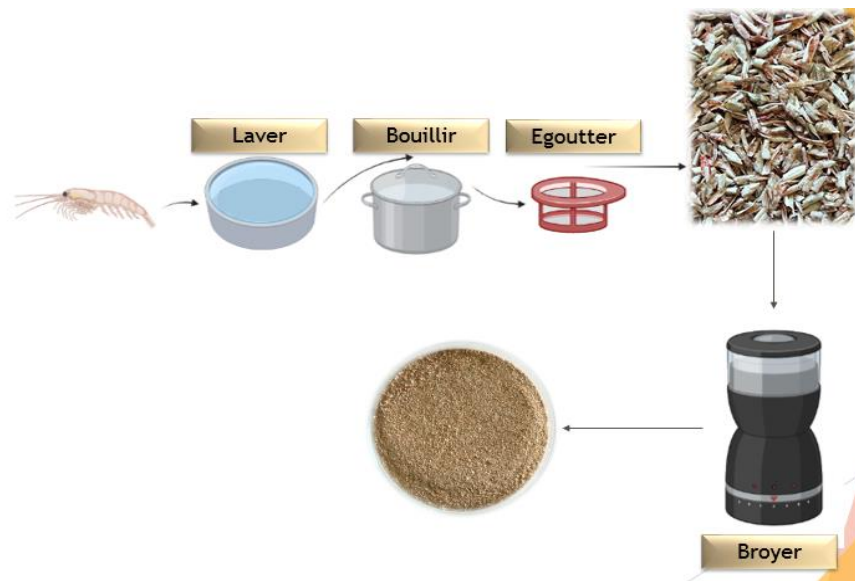


Figure III.9 : Prétraitement des carapaces de crevettes

II.4. Procédé d'extraction de la chitosane

Le principe de base consiste à extraire la chitine à partir des carapaces de crevettes par des traitements successifs avec des bases et des acides minéraux. Cette substance, après purification, subissent ensuite l'hydrolyse basique ou déacétylation pour libérer le chitosane. Afin d'extraire la chitine, une masse d'exosquelettes des crevettes d'environ $P_0=90g$, après l'étape de broyage, sera soumise à un traitement qui repose sur trois étapes essentielles :

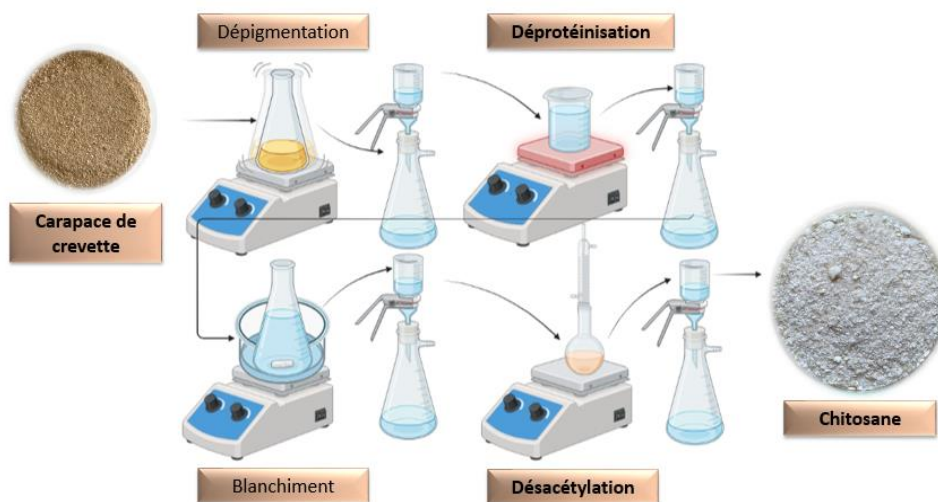


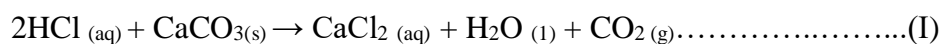
Figure III.10 : Procédé d'extraction de chitosane

- L'étape de déminéralisation ;
- L'étape de déprotéinisation ;
- L'étape de blanchiment.

Le procédé d'extraction de la chitine et de désacétylation choisi est celui proposé par (*Michael Oduor Odote P, 2005*).

II.4.1. Déminéralisation

Dans un cristallisateur les carapaces, une fois prétraitées (lavage, broyage et séchage), ont été minutieusement mélangées (90g) dans une solution aqueuse d'acide chlorhydrique (HCl) (1N) avec une ration (m/v 1/15), le mélange est magnétiquement agité à la température ambiante pendant une nuit, et ce pour dissoudre les minéraux qui accompagnent les carapaces. Le carbonate de calcium (CaCO₃), principal composé minéral de la carapace (entre 30 et 50%), réagit avec le HCl pour former du chlorure de calcium, de l'eau et du gaz carbonique comme décrit dans la réaction (I) :



Finalement le contenu du cristallisateur a été filtré sur une toile filtrante et lavé abandonnement avec de l'eau distillée jusqu'à la neutralité, on sèche la poudre obtenue dans l'étuve à 50°C.

II.4.2. Déprotéinisation

Les carapaces déminéralisées, après des lavages avec de l'eau distillé, ont été mélangées dans des solutions de soude caustique (NaOH) à 10 % en proportion (1/20 m/v) ; (poids de carapace sec/volume (NaOH)). Le mélange est porté à une température de 100°C dans un chauffe-ballon pendant 6h. Ce traitement nous permettra d'éliminer les protéines qui sont présentes avec un taux de 30 à 40% dans les carapaces de crevettes. A la fin du traitement le contenu du cristallisateur est à nouveau filtré sur toile filtrante et rincé abandonnement avec de l'eau distillée jusqu'à la neutralité, l'eau distillée est remplacée par l'acétone. Un ultime rinçage avec de l'eau distillé permet d'entraîner les impuretés lipidiques résiduelles. Le filtrat est alors transféré dans une étuve à 50°C pendant une nuit.

II.4.3. Blanchiment

Cette étape consiste à éliminer les pigments dans les carapaces de crustacées qui forment des complexes avec la chitine, telle que les dérivés de β-carotène.

Le blanchiment de la chitine est souvent réalisé par un traitement avec des agents oxydants tel que : le H₂O₂ (2,5N) en masse dans un rapport 1/10 (solide/Liquide ; g/ml) à une température de 30 °C, pendant 3 heures. Le mélange est ensuite filtré et lavé plusieurs fois avec l'eau distillée pour éliminer les composants restants afin d'obtenir un milieu neutre la chitine est ensuite séchée à l'étuve à une température de 35°C pendant 24 heures.

II.4.4. Désacétylation

La désacétylation de la chitine extraite est effectuée avec une solution basique NaOH de forte concentration (40-50%) à une température de 100°C et plus.

Dans notre cas, on a choisi de travailler avec le NaOH à 50% avec un ratio 1/20 (m/v), dans lequel le mélange est chauffé à reflux à 120°C pendant 3h. A la fin du traitement le contenu du cristalliseur est filtré et lavé abandonnement avec de l'eau distillé jusqu'à la neutralité. Pour accélérer le processus de déshydratation, on rince avec de l'éthanol et on passe à une étuve pendant une nuit à 50°C, puis broyée pour obtenir le chitosane sous forme d'une poudre.

Après chaque étuvage, la matière sèche est pesée pour déterminer le rendement de chaque réaction.

II.5. Caractérisation du chitosane

II.5.1. Détermination du rendement

Le rendement désigne la masse de l'extrait déterminée après synthèse et extraction, il est exprimé en pourcentage par rapport à la masse initiale de la poudre de carapace de crevette soumise à l'extraction. Le rendement (R) est calculé par la formule suivante :

$$R(\%) = \frac{M}{M_0} * 100$$

Où :

R : Rendement exprimé en %

M : Masse en gramme de l'extrait sec résultant

M₀ : Masse en gramme du matériel végétal à traiter

III.5.2. Détermination de la matière sèche

Elle est déterminée par dessiccation dans une étuve ventilée jusqu'à poids constant selon la méthode officielle (AOAC, 1995). Le taux d'humidité correspondent à la différence de pesée entre le poids d'un gramme de poudre d'échantillon et son poids une fois chauffé à 105 ± 2 °C pendant 2 heures. Les résultats sont exprimés en g/100 g matière fraîche (MF) ou bien en g/100 g matière sèche (MS).

$$\text{Teneur en matière sèche} = \frac{(M_2 - M_0)}{(M_1 - M_0)} * 100$$



Figure III.11 : Etuve pour teneur en matière sèches

- M_0 : la masse en g de la creuser ;
- M_1 : la masse en g du creuser avec la prise d'essai ;
- M_2 : la masse en g de la capsule avec la matière sèche.

III.5.3. Détermination de la teneur en cendres

Cette analyse est réalisée selon la méthode officielle (AOAC,1995), et consiste à placer dans un creuset en porcelaine 2 g de poudre préalablement séchés, tarer puis incinérer dans un four à moufle à 550 °C pendant 4 heures. Le poids du résidu correspond à la matière minérale. Les résultats sont exprimés en g/100 g de matière sèche (MS).

$$\text{Teneur en cendre} = \frac{(M_2 - M_0)}{(M_1 - M_0)} * 100$$



Figure III.12 : Four à moufle

- M_0 : la masse en g de la capsule d'incinération ;
- M_1 : la masse en g de la capsule avec la prise d'essai ;
- M_2 : la masse en g de la capsule avec les cendres.

III.5.4. Détermination de la teneur en protéines brutes

L'azote total (N) est déterminé par la technique de Kjeldahl, selon la procédure alternative II (AOAC, 1995). Cette méthode de dosage comporte trois étapes : la minéralisation, la distillation et la titration.



Figure III.13 : Dispositif pour la détermination de l'azote kjeldahl

III.5.4.1. La minéralisation

La minéralisation est la transformation de l'azote organique de l'échantillon sec (0,5g) en azote minéral (sulfate d'ammonium), en présence de 10 ml d'acide sulfurique concentré et d'un catalyseur dans notre étude nous avons utilisé 0,5g de sulfate de cuivre CuSO_4 (Kjeltabs CT, Thompson et Capper LTD), chauffé à 450 °C pendant 4h.

III.5.4.2. La distillation

Le minéralisât est ensuite placé dans un système de distillation automatique, type Kjeldahl VELP Scientifica UDK 129. Après transformation du sulfate d'ammonium en ammoniac par une base forte (NaOH , 35%), l'ammoniac est entraîné par la vapeur d'eau et repris dans une solution d'acide borique contenant un indicateur coloré.

III.5.4.3. La titration

Le distillat ainsi obtenu est titré par une solution d' H_2SO_4 (0,05N). La teneur en azote de la matière sèche est obtenue par l'équation suivante :

$$\text{Azote total (N) en mg/g} = \frac{(V_1 - V_0) * M * 14 * 100}{m}$$

- V_0 : la Volume en ml d'acide sulfurique utilise pour le blanc ;
- V_1 : Volume en ml d'acide sulfurique utilise pour la prise d'échantillon ;
- M : la concentration de l'acide sulfurique.
- m : la masse en g de l'échantillon
- 14 : masses molaires de l'azote

La teneur en protéines totales est obtenue en multipliant la teneur en azote par 6,25 et exprimée en g/100 g de matière sèche (MS).

III.5.5. Détermination de la teneur en lipides

Une quantité de 1g de l'échantillon est placée dans une cartouche en cellulose d'un système d'extraction au « Soxhlet » on met 25 ml d'Hexane dans des creusets en aluminium (ou pyrex) préalablement lavé, séché et taré. L'extraction se fait par ébullition du solvant et condensation de ses vapeurs par un réfrigérant. Cette extraction dure environ 1 heure. Ensuite, on met les creusets dans l'étuve à 105°C pendant 24h pour éliminer complètement le reste du solvant. Les creusets sont ensuite refroidis dans un dessiccateur et pesé de nouveau. La teneur en matière grasse est calculé par :

$$\text{Teneur en lipides} = \frac{(P_2 - P_1)}{P_0} * 100$$

- M_0 : la masse en g de l'échantillon ;
- M_1 : la masse en g du creuser vide ;
- M_2 : la masse en g du creuser contenant la matière grasse.



Figure III.14 : Soxtherme pour la détermination de la teneur en lipide

III.5.6. Dosage des carbohydrates

III.5.6.1. Principe

Le dosage des sucres totaux est effectué par la méthode de phénol /acide sulfurique (*Dubois et al., 1956*) . Cette dernière nécessite une hydrolyse .acide qui permet la rupture de toutes liaisons glucidiques dans le polyside. Le principe du dosage se base sur la condensation des produits de déshydratation des oses avec un chromogène qui est le phénol.

A ce moment-là, il se forme des chromophores des chromophores de couleur jaune-orange, leur apparition est suivi en mesurant l'augmentation de la densité optique a 490 nm. La teneur des sources est exprimée en µg /ml (convertie en grammes / litre de α D (+) Glucose à partir d'une courbe d'étalonnage.

III.5.6.2. Procédé

On additionne a 0,5 g d'échantillon, 2 ml d'acide sulfurique (H₂SO₄) 0 ,5 M, puis on place l'ensemble dans une étuve réglée à 105°C pendant 3 heures ; On transverse la solution dans une fiole de 50 ml tout en ajustant le volume par de l'eau distillée jusqu'à 500 ml ; On filtre la solution puis on réalise trois répétitions, Dans les tubes on met 1ml de chaque dilution ,ensuite on ajoute dans chaque tube 1ml de phénol 5% et 5ml d'acide sulfurique H₂SO₄ a 98% , Les tubes sont maintenus dans l'étuve pendant 5 minutes a 105°C ,puis laissés dans l'obscurité pendant 30 minutes, On maintien les tubes dans une étuve pendant 5 min a 105 °C , ensuite on les laisse dans l'obscurité pendant 30 min . Enfin , à l'aide d'un spectromètre , la densité optique est lue a une longueur d'onde de 490 nm ; X : quantité de sucres totaux µg / mg MF

III.5.7. Dosage des sulfates

III.5.7.1. Principe

Les ions sulfates du polysaccharide sont libérés au cours d'une hydrolyse chlorhydrique, et vont former, en présence de chlorure de baryum, un précipité de sulfate de baryum (maintenu en suspension par la gélatine), dont l'apparition est suivie en spectrophotométrie à 550nm.

III.5.7.2. Procédé

Chlorure de baryum (BaCl₂)/Gélatine: 600 mg de gélatine sont dissous dans 200 ml d'eau osmosée portée à 60-70 °C. La solution est refroidie puis mise à 4°C pendant 16 heures. Elle est ensuite réchauffée 1à2 heures à température ambiante, et 2g de BaCl₂.2H₂O sont ajoutés (réactif stable un mois). Le dosage turbidimétrique est réalisé en plaçant dans un tube :

- 1 mL de surnageant (ou de solution étalon)
- 9 mL d'eau osmosée
- 1 mL d'HCl 0,5N

- 0.5 mL de réactif BaCl₂/Gélatine

Le tube est laissé 30 min à température ambiante, agité, et l'absorbance est lue à 550 nm contre un blanc. La teneur en sulfates du polysaccharide est déterminée par rapport aux absorbances mesurées de la courbe étalon.

III.5.8. Dosage des protéines totales

La méthode est utilisée pour doser le taux de protéine dans le chitosane pour cela on utilise celle de Bradford (1976) qui utilise le BSA (Bovine sérum Albumine). On prend 100 mg d'échantillon broyé dans un mortier, auxquels on ajoute 5 ml d'eau distillée. Après filtration on met la solution dans un tube à essais avec 5 ml d'eau distillée.

Le réactif de Bradford est préparé en mélange 100 mg de BBC (Bleu brillant de coomassie) à 50 ml d'éthanol à 95%. On agite pendant 2 heures. On ajoute 100 ml d'acide ortho phosphérique à 85%, puis de l'eau distillée pour arriver à 1000 ml. Le tout est conservé dans un flacon sombre au réfrigérateur. On prend 0,2 ml du réactif que l'on ajoute à 0,2 ml de la solution à analyser et 1,6 d'eau distillée. Le tout est agité au vortex. Après 5 min à 1 heure de temps, on mesure la densité optique (DO) à l'aide d'un spectrophotomètre à une longueur d'onde de 595 nm. Les protéines totales sont exprimés en µg/mg MF.

III.5.9. Spectroscopie infrarouge à transformée de Fourier (FTIR)

III.5.9.1. Principe

La spectroscopie infrarouge à transformée de Fourier (FTIR) permet d'identifier la présence de groupements chimiques spécifiques. Cette méthode d'analyse permet rapidement d'obtenir des spectres IR d'échantillons solides et liquides sans nécessiter beaucoup de manipulations au préalable. Le principe repose sur les vibrations entre les atomes et entre différents groupements d'une molécule lorsqu'ils sont excités par une longueur d'onde du spectre infrarouge. L'appareil permet de mesurer ces vibrations et de fournir un spectre caractéristique de la molécule (lorsqu'elle est pure) permettant d'être identifiée et d'être reconnue notamment par l'utilisation de banques de données (*Pominville RacetteMathie, 2015*).

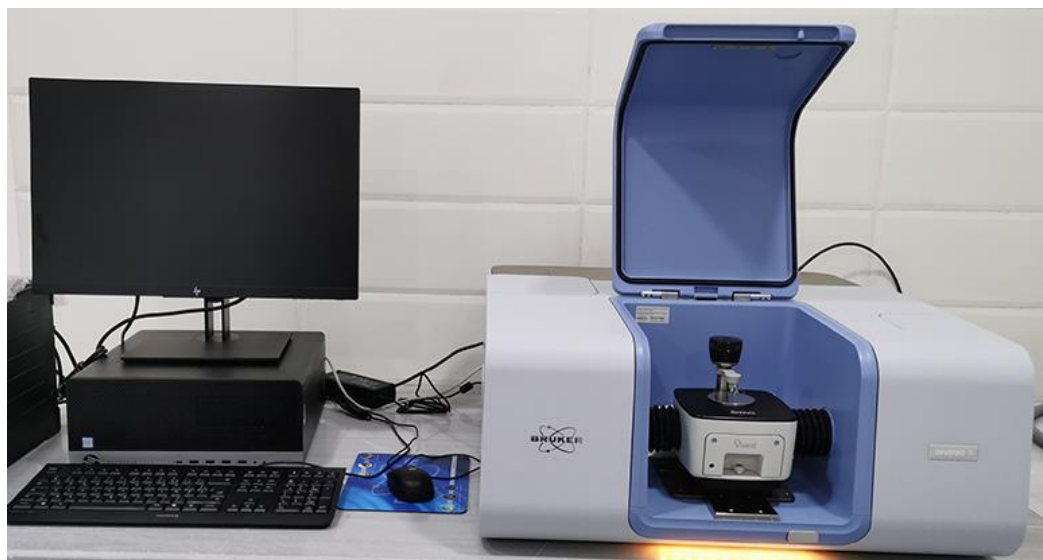


Figure III.15 : Spectroscopie par rayonnement infrarouge

III.5.9.2. Caractérisation du chitosane par spectroscopie IR-TF

Cette technique simple à mettre en œuvre, est largement utilisée pour étudier la composition et la structure de la chitine, pour distinguer la forme α de la forme β et parfois pour déterminer le degré d'acétylation. Des échantillons de carapaces de crevettes, de la chitine extraite et le chitosane extraits, tous les échantillons ont été broyés en une poudre très. Un spectrophotomètre infrarouge a été utilisé, les spectres IR des échantillons (de chitine extraite, carapaces de crevettes, et le chitosane extrait) ont été enregistrés dans le mode d'absorption dans la gamme de 400 à 4000cm^{-1} .

III.5.10. Le degré de désacétylation (DDA) du chitosane

La méthode choisie pour déterminer le degré de désacétylation est la spectrométrie infrarouge (IR). La spectrométrie IR est la plus répandue la détermination du DD. Cette analyse permet d'obtenir les empreintes spectrales vibrationnelle des groupements constituant une molécule. Il est possible par cette méthode de déterminer le degré de désacétylation par la formule suivante :

III.5.11. Test de solubilité de la chitosane

Afin d'étudier l'effet de la concentration de l'acide acétique sur la dissolution du chitosane, une série de solutions de 25ml à différentes concentrations de l'acide (0.1 , 0.5 , 1 , 1.5 et 2) mol/l sont préparées, dans lesquelles on dissout une masse de 0.08 g du chitosane extrait, sous agitation magnétique pendant 24h à la température ambiante. Les solutions du polymère ont été filtrées sous vide à l'aide d'un papier filtre, ensuite les résidus obtenus seront séchés à l'étuve pendant 24h . Les fractions insolubles seront pesées après séchage, leurs poids (m)

permettent de calculer les taux de solubilité avec la formule proposée par (Mohy Eldin et al.,2008) ci-dessous.

$$\text{Taux de solubilité} = \left[1 - \left(\frac{\text{Poids de la fraction insoluble}}{\text{Poids totale de l'échantillon}} \right) \right]$$

III.5.12. La spectrométrie de fluorescence X (XRF)

La spectrométrie de fluorescence X (XRF) est une méthode analytique utilisée pour déterminer la composition élémentaire d'un échantillon. La spectroscopie de fluorescence X est principalement utilisée pour l'analyse des éléments inorganiques et est basée sur le principe de l'émission de rayonnement X caractéristique par les atomes excités. On a utilisé environ 2g de chitosane qu'on a formé sous forme de pastille avant de l'introduire dans le dispositif de spectrométrie de fluorescence X (XRF).



Figure III.16 : Dispositif de spectroscopie par fluorescence X

III.5.13. Microscope optique

L'observation de la morphologie du chitosane au microscope optique est une méthode couramment utilisée pour visualiser la structure et la forme des échantillons de chitosane. Lors de l'observation au microscope optique, vous pouvez observer des caractéristiques telles que la forme des particules de chitosane, leur taille, leur arrangement et leur distribution. Le chitosane peut former des agrégats, des fibres, des films ou d'autres structures en fonction des conditions de préparation et des propriétés du matériau. Pour cela une fine quantité de poudre est placée sur une lame en verre puis recouverte avec une lamelle avant de passer à l'observation microscopique.



Figure III.17 : Microscope optique

III.5.14. Déterminer la température de fusion

Le banc Kofler est un dispositif utilisé en laboratoire pour déterminer la température de fusion et la plage de température de ramollissement d'un échantillon solide. Cependant, le banc Kofler n'est généralement pas utilisé spécifiquement pour le chitosane, mais plutôt pour des substances cristallines telles que les polymères thermoplastiques ou les composés organiques.

Pour utiliser un banc Kofler avec du chitosane, on commence par préparer notre échantillon de chitosane sous forme de poudre. Puis on procède au préchauffage du banc Kofler jusqu'à avoir une température de départ appropriée pour l'échantillon. La température de départ dépendra des propriétés connues du chitosane et peut être estimée en fonction des températures typiques de fusion ou de ramollissement du chitosane. On augmente progressivement la température de la plaque chauffante du banc Kofler.

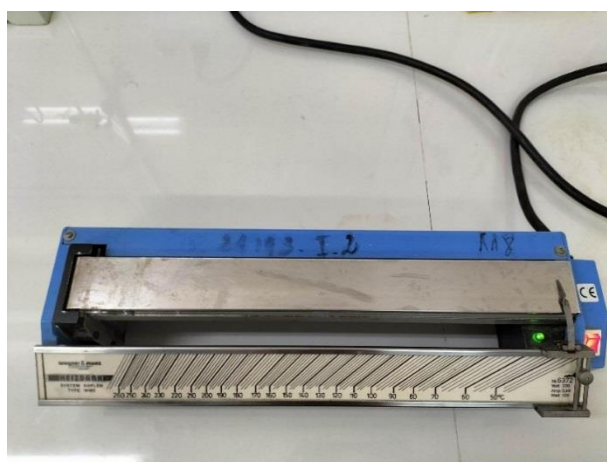


Figure III.18 : Banc Kofler

Chapitre IV

IV.1. Introduction

Cette partie est consacrée essentiellement à la présentation et à la discussion des différents résultats obtenus. On commencera par l'interprétation des différents dosages effectués durant notre étude que ce soit pour les carapaces de crevette et la chitosane synthétisé, la composition et la structure du biopolymère sont déterminé par le FTIR, FRX, microscope optique et banc kofler.

IV.2 Composition chimique

IV.2.1. Le rendement d'extraction

D'après le tableau IV.1, le rendement global de l'extraction est de 15,33%, ce taux est relativement similaire à ceux cités dans les travaux précédents.

Tableau IV.1 : Les rendements d'extractions

Etape	Déminéralisation	Déprotéinisation	Blanchiment	Désacétylation
Rendement (%)	31,85	80,93	79,68	74,63

IV.2.2. Caractérisation physique

Le tableau montre les différents résultats obtenus dans la partie caractérisation physique dont les teneurs en matières sèches, teneur en eau, teneur en cendre et la teneur en matières volatiles pour les carapaces de crevette et le chitosane. Nous constatons que les résultats assez similaires pour les deux échantillons, nous constatons que les carapaces de crevettes sont composées de $93,51 \pm 0,86$ de matière sèche et que la teneur en eau représente $6,49 \pm 0,86$ de la matrice animale, ces résultats montrent que les carapaces de crevette ont été bien séchées. Le chitosane quand à lui a montré une teneur en matière sèche de $93,13 \pm 0,64$ et $6,87 \pm 0,64$ d'humidité. On peut conclure que la structure de ces matériaux est bien rigides.

Quant à la teneur en cendre pour les carapaces de crevette elle est égale à $9,37 \pm 1,18$ cette valeur est nettement inférieure à la teneur en matière volatile $90,63 \pm 1,18$. Ce résultat montre que les carapaces de crevettes sont composées majoritairement par des composés organiques volatils. La teneur en cendre reflète la proportion de minéraux et de sels présents dans l'échantillon.

La teneur en cendre du chitosane est de $0,6 \pm 0,34$ ce résultat permet de prouver que notre échantillon est composé uniquement de matières organiques, et c'est généralement le cas pour les biopolymères biosourcés.

Les cendres résultent de la combustion complète de la matière organique et peuvent contenir des éléments tels que le calcium, le potassium, le magnésium, le phosphore et d'autres minéraux.

Tableau IV.2 : Dosage physique des carapaces de crevettes et du chitosane

Extrait	Teneur en matière sèche		Teneur en eau		Teneur en cendre		Teneur en matière volatil	
	Valeur	Sd	Valeur	Sd	Valeur	Sd	Valeur	Sd
Carapace de crevette	93,51	0,86	6,49	0,86	9,37	1,18	90,63	1,18
Chitosane	93,13	0,64	6,87	0,64	0,6	0,34	99,4	0,34

IV.2.3. Caractérisation chimique

Le tableau présente les différents résultats de dosage obtenue durant notre étude sachant que certains d'entre eux ont été effectués sur les carapaces de crevettes brute et d'autre sur le biopolymère à base de chitosane extrait de ces dernières; car certain dosage comme la teneur en glucide et sulfate ne peuvent être faits sur l'échantillon en lui-même, il doit d'abord subir une extraction ou une synthèse.

Tout d'abord pour les carapaces de crevettes, on a noté $0,58 \pm 2,47$ de teneur en azote $3,66 \pm 2,47$ de teneur en protéine et $1,47 \pm 0,19$ en lipide. Ces résultats sont similaires à ceux trouvez dans la littérature. L'infériorité de la teneur en lipide est dû à la préparation de l'échantillon ce dernier a subi plusieurs lavage et ébullition pour éliminer le maximum de gras contenue dans les carapaces, la teneur en protéine est similaire au résultat mentionné par (*Harrats, 2016*) car nous avons utilisé pour notre étude uniquement les carapaces et non pas un mélange de têtes et de carapaces. L'azote ce dernier n'est qu'une mesure indirecte de la teneur en protéines.

Tableau IV.3 : Dosage chimique des carapaces de crevettes et du chitosane

Extrait	Dosage en glucide		Dosage en sulfate		Teneur en azote		Teneur en protéine		Teneur en lipide	
	Val	Sd	Val	Sd	Val	Sd	Val	Sd	Val	Sd
Carapace de crevette	/	/	/	/	0,58	2,47	3,66	2,47	1,47	0,19
Chitosane	24,2	0,02	1,9	0,02	/	/	4,7	0,01	/	/

En ce qui concerne les dosages effectués sur le chitosane, nous notons une valeur de $4,7 \pm 0,01$ % de protéine ce résultat est similaire par rapport aux recherches antécédente. La

teneur en sulfate étant de $1,9 \pm 0,02$ qui est relativement faible permet de confirmer que ce n'est pas un polysaccharide sulfaté. Aussi nous constatons une teneur en glucide de $24,2 \pm 0,02$ ce résultat est légèrement faible comparé à certaine recherche. Mais d'après les études effectuées au préalable lorsque la chitine est déacétylée pour produire du chitosane, cela peut entraîner une réduction de la teneur en glucides totaux du matériau par rapport à la chitine d'origine.

IV.3. Caractérisation structurale et chimique du chitosane

IV.3.1. Spectroscopie a transformé de Fourier

La figure présenté le spectre FTIR du chitosane extrait où les pics caractéristiques du chitosane est observé, et puis résumées dans le tableau.

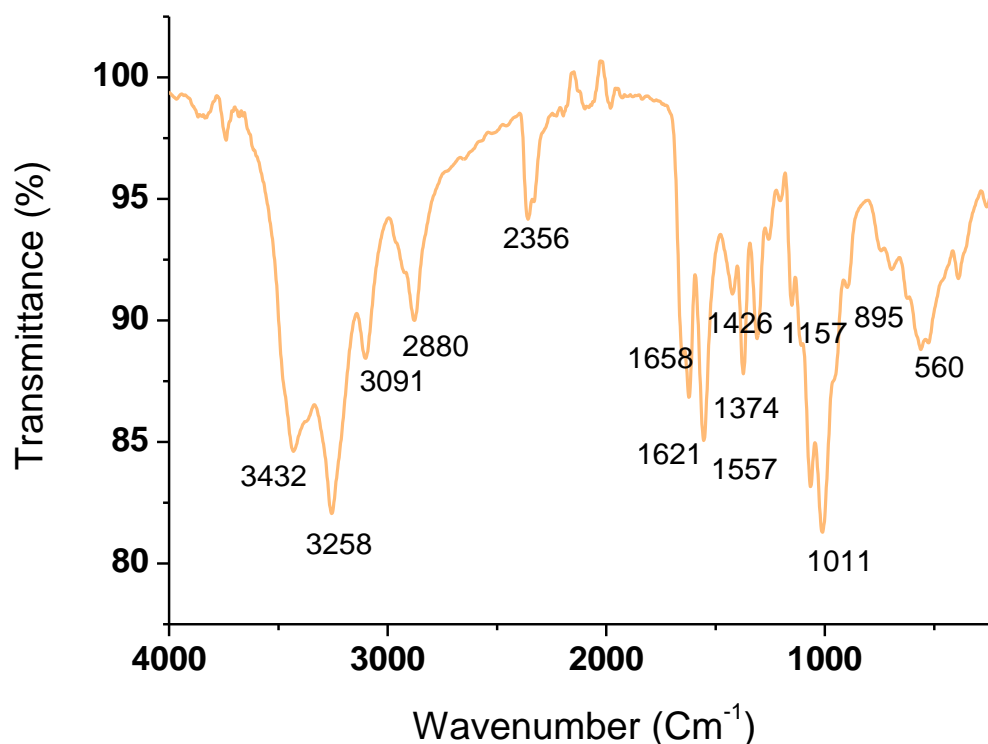


Figure IV.19 : Spectre infrarouge du chitosane

D'après le spectre FTIR du chitosane on remarque des pics d'absorption à 1658 et à 1557 cm⁻¹ qui correspondent respectivement à la bande d'absorption des carbonyles (C=O) dans le groupement NHCOCH₃ (bande amide I) et la bande d'absorption des amines (-NH₂) dans le groupement NHCOCH₃ (bande amide II). La bande à 1374 cm⁻¹ est attribuée à la vibration d'élongation de la liaison C-N (bande amide III),

La bande principale qui se trouve à 3462 cm⁻¹ dans le spectre de la chitine se déplace à 3444 cm⁻¹ dans le chitosane. Les absorbances des pics dues aux vibrations d'élongation de -CH

et CH_2 à $2880\text{-}3091\text{ cm}^{-1}$, deviennent plus faibles dans le cas du chitosane. Le spectre de la chitine montre des bandes dans la région $500\text{-}900\text{ cm}^{-1}$ appelée région sensible à la structure. L'absence de ces bandes dans le spectre du chitosane reflète le changement de la structure du polysaccharide (*Shaojie et al., 2003*).

Tableau IV.4 : Nombre d'onde et type de vibration de la composition du chitosane

Nombre d'onde (cm-1)	Liaison et types de vibrations
3432	Vibration d'élongation de la liaison N-H du groupe
3258	Vibration d'élongation du (O-H...O) (liaison hydrogène intermoléculaire)
2880	Elongation symétrique de la liaison C-H des méthyles
2356	Elongation symétrique de la liaison C-H des méthylènes
1658	Vibration d'élongation C=O (Amide I)
1621	Déformation angulaire de la liaison N-H des amides
1557	Déformation angulaire de la liaison N-H des amines
1426	Vibration de déformation C-H (antisymétrique)
1374	Vibration d'élongation du C-N et de déformation du N-H (Amide III)
1157	Vibration d'élongation du C-O-C (liaison oxygène symétrique)
1011	Vibration d'élongation de C-OH dans l'acétamide
893	Vibration du squelette circulaire du pyranose

IV.3.2. Détermination du degré de désacétylation (DD%)

Les valeurs des absorbances des bandes les plus caractéristiques, celle de la fonction amide (bande amide I) par rapport à celle de la fonction OH (alcool), sont utilisées pour la détermination du degré de désacétylation DD, puisqu'elles sont proportionnelles aux concentrations respectives des espèces considérées (**loi de Beer-Lambert**).

La détermination du DD ($\text{DD} = 1 - \text{DA}$) a été décrite par plusieurs chercheurs. Elle est fondée sur la comparaison entre l'absorbance d'une bande qui est proportionnelle à la désacétylation (bande amide I mesurée à 1655 cm^{-1} , A_{1655}) et à l'absorbance de la seconde bande qui est indépendante de la désacétylation et qui reste constante, du fait que ce groupement fonctionnel (OH) ne subit pas d'altération chimique lors de l'arrangement du chitosane (bande de référence de OH à 3450 cm^{-1} , A_{3450}) (**Mekahlia S, 2007**).

Pour notre étude, les bandes en question et caractéristiques des deux fonctions, sont légèrement décalées de 3 cm^{-1} et 4 cm^{-1} , situées à des fréquences de 1658 et 3446 respectivement. Ces écarts négligeables sont dus aux conditions expérimentales de préparation

des échantillons. En utilisant l'équation (1) donnée par *Fernandez Cervera et al*, le DD calculé est :

$$DD \% = 87,8 - \left[\frac{3 * A_{1658}}{A_{3432}} \right] \dots \dots (1)$$

$$DD \% = 87,8 - \frac{3 * 0,05024}{0,07252}$$

$$DD \% = 85,72 \%$$

IV.3.3. Test de solubilité

L'étude de l'effet de la concentration de l'acide acétique sur la solubilité de chitosane, a été réalisée sur des solutions de l'acide en question à différentes concentrations. La courbe ci-dessous représente le taux de solubilité ce polymère, en fonction des concentrations des solutions d'acide acétique.

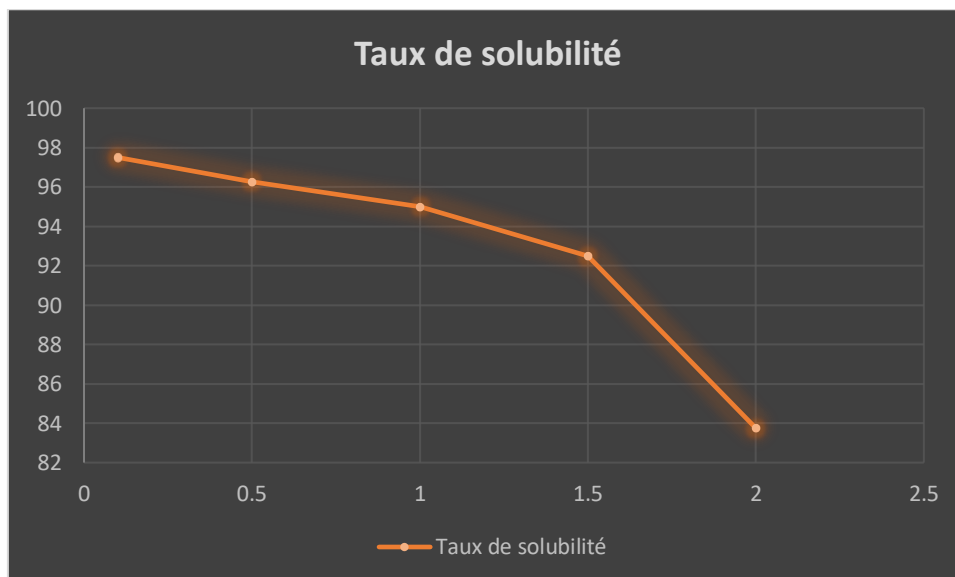


Figure IV.20 : Profil du taux de solubilité

La figure montre que le chitosane extrait est soluble à des concentrations d'acides acétiques égale et inférieurs à 1 M. Il atteint de taux de solubilité très élevés de 97,5 % à une concentration de 0,1M. En effet le chitosane est soluble dans les acides dilués.

On remarque que plus la concentration de l'acide est importante plus sa constante de dissociation est faible. Par conséquent il y aura moins de protons H^+ libérés, ce qui engendre une diminution du taux de solubilité du chitosane.

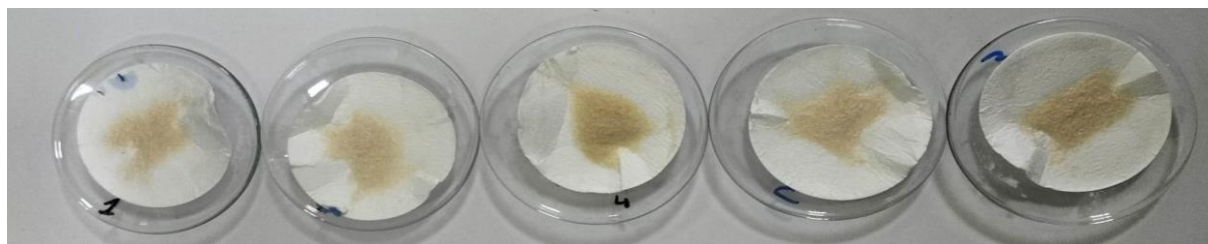


Figure IV.21 : Résidu du biopolymère après hydrolyse

IV.3.4. La fluorescence des rayons X

Le tableau suivant présente les différents éléments détectés par la fluorescence des rayons X. ces résultats montrent que le chitosane est un élément organique car les éléments légers représente 99,63% de la composition ; les éléments légers sont généralement composé du Carbone (C), de l'oxygène (O₂), de l'hydrogène (H), de l'azote (N) et du soufre (S). le reste des éléments détectés sont plus sous forme de traces l'aluminium est en liste avec le plus grand taux 0,221 % suivi du silicium 0,083%, puis du cuivre 0,022 % le Zinc, fer, calcium, nickel et plomb sont presque négligeable.

Tableau IV.5 : Composition chimique du chitosane par FRX

Eléments	Pourcentage (%)
Elément légers	99.63%
Aluminium	0.221%
Silicium	0.083%
Cuivre	0.040%
Zinc	0.022%
Fer	0.005%
Calcium	0.003%
Nickel	0.001%
Plomb	0.001%

IV.3.5. Point de fusion

Les points de fusion ont été effectués à l'aide d'un BANC KOFLER à gradient de température de 60 à 260°C, préalablement étalonné. Une petite quantité de chitosane est déposée sur le support avec la lame on commence par étaler notre biopolymère doucement. En déplaçant l'échantillon de chitosane, on peut observer les changements qui se produisent à différentes températures ; on premier lieu on remarque la couleur commence à jaunir et il y a un dégagement d'odeur de gaz carbonique, plus la température augmente plus le chitosane se noirci arrivé à 260°C mais la dégradation reste incomplète car on n'a pas pu atteindre la température de fusion vu la limitation de la plage de température.

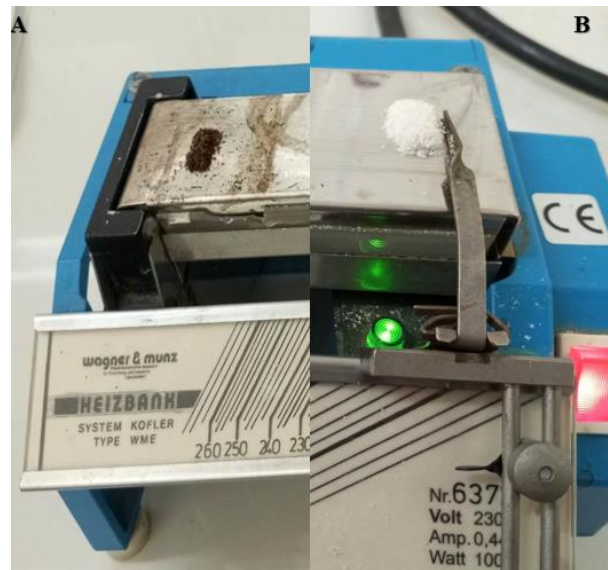


Figure IV.22 : Détermination de la température de fusion au banc kofler

IV.3.6. Caractérisation par le microscope optique (OM)

Nous constatons d'une manière qualitative que les résultats des observations MO en surface. Montrent une morphologie hétérogène avec certaines parties rugueuses et d'autres lisses. Cependant la taille des grains reste assez similaire. Pour une meilleure observation de la surface du biopolymère il est conseillé de faire une caractérisation MEB-EDS dans une étude ultérieure.

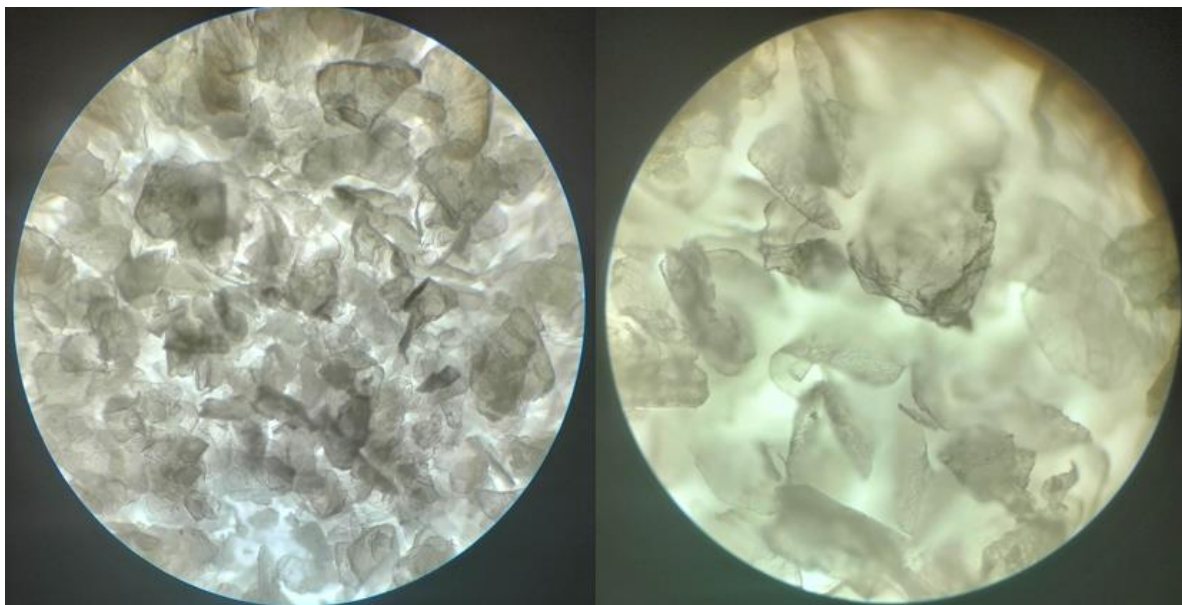


Figure IV.23 : Vue microscopique du chitosane

Conclusion générale

Conclusion générale

Conclusion générale

Au terme de ce présent travail, nous avons voulu avoir caractérisé le chitosane obtenue par valorisation de déchets et avoir des informations sur les qualités de la composition de la crevette et du chitosane.

L'objectif de ce travail est l'extraction de la chitine à partir des carapaces de crevettes puis sa transformation par voie chimique en chitosane. Cette étude rentre aussi dans le cadre de la protection de l'environnement.

Pour extraire la chitine, on a trois étapes à suivre : la déminéralisation pour solubiliser le carbonate de calcium et le chlorure de calcium, ensuite la déprotéinisation pour éliminés les protéines, puis le blanchiment (décoloration) pour éliminer des traces de pigments résiduels. Et entre chaque étape des opérations de lavage sont obligatoires.

Les résultats obtenus ont permis de conclure que la méthode d'extraction a été une réussite surtout si on se réfère à son spectre infrarouge qui a été identique à ceux qu'on peut trouver dans la littérature. C'est biopolymères insoluble dans de l'acide acétique surtout à forte concentration. L'analyse élémentaire a démontré qu'il est composé par 99% d'élément léger dont du carbone, hydrogène et oxygène, cependant on a pu déceler la présence de certains minéraux sous forme de trace.

La « richesse » du chitosane, notamment son degré de désacétylation à l'origine de son potentiel, additionnée aux propriétés biologiques auparavant mentionnées, en font un polymère particulièrement intéressant pour une multitude d'applications.

Référence bibliographique

Référence bibliographique

Abid, N., Kaddouri, S., Souid, H., Hamid, M., Messoudi, Z., & Gheraissa, A. (2022). Amélioration de la qualité des films biodégradables à base dPLA pour l'emballage alimentaire.

Ahmad, D. (2013). *Analyse et simulation de la déformation de films polymères de décoration au cours de leur mise en forme* (Doctoral dissertation, INSA de Lyon).

Albrecht, R. (2007). *Co-compostage de boues de station d'épuration et de déchets verts: nouvelle méthodologie du suivi des transformations de la matière organique* (Doctoral dissertation, Université de droit, d'économie et des sciences-Aix-Marseille III).

Aljawish, A. (2013). *Fonctionnalisation enzymatique de chitosane par des composés phénoliques: évaluation des propriétés biologiques et physico-chimiques de ces nouveaux biopolymères* (Doctoral dissertation, Université de Lorraine).

Amrane Safa, A. S. (2021). Étude rhéologique et caractérisation de solutions de biopolymères.

Azizen, H. L. (2021). Étude de la biodégradabilité de nouvelles mousses polyuréthanes biosourcées dans un environnement marin.

Bascetin, R. (2014). *Etude de l'auto-assemblage de la fibronectine plasmatique humaine: mécanismes et réponses cellulaires* (Doctoral dissertation, Cergy-Pontoise).

Beeker, E. (2014). Y a-t-il une place pour l'hydrogène dans la transition énergétique. *Note d'analyse, France Stratégie, Commissariat général à la Stratégie et à la Prospective*. URL: <http://www.strategie.gouv.fr/sites/strategie.gouv.fr/files/atoms/files/201-08-06nafshydrogene-hd.pdf>.

Bioy, X. (2014). Les enjeux des nouvelles technologies appliquées à la santé en Europe. *Revue Lamy Droit de l'immatériel*, (108).

BOUKHERCHEF, F., RAHMANI, S., & LAIDI, M. (2020). Encapsulation d'un antihypertenseur par un bio-polymère.

Brun, J. P., & Dugas, N. (2005). La reconnaissance au travail: analyse d'un concept riche de sens. *Gestion*, 30(2), 79-88.

Brut, M. (2009). *Nouvelle approche méthodologique pour la prise en compte de la flexibilité dans les interactions entre molécules biologiques: les Modes Statiques* (Doctoral dissertation, Université Paul Sabatier-Toulouse III).

Cano, N., Barnoud, D., Schneider, S. M., Vasson, M. P., Hasselmann, M., & Lerverve, X. (Eds.). (2006). *Traité de nutrition artificielle de l'adulte*. Springer Science & Business Media.

Cardey, P. F., & Bélot, J. M. (2015). Innovations récentes dans les technologies de traitements de surfaces des implants.

Cavaille, L. (2015). *Production de Polyhydroxybutyrates à partir d'acides gras volatils en culture ouverte: influence du degré de limitation en phosphore sur les réponses cinétiques et les sélections microbiennes* (Doctoral dissertation, INSA de Toulouse).

Chalkiadakis, E. (2013). *Bio-prospection et biodiversité des micro-organismes des milieux atypiques des lagons de la Nouvelle-Calédonie: Premières évaluations du potentiel de production de nouvelles molécules d'intérêt biotechnologique* (Doctoral dissertation, Nouvelle Calédonie).

Chenniki, W. (2015). *Evaluation de la fiabilité de boîtiers électroniques QFN à base de nanocomposites LCP/SiO₂ fonctionnalisés* (Doctoral dissertation, Université de Bordeaux).

CHIKER, M., & MOULAI-MOSTEFA, N. (2022). OPTIMISATION DE LA FORMULATION D'UN HYDROGEL A BASE DES BIOPOLYMERES.

Crini, G., Badot, P. M., Roberts, G. A., & Guibal, E. (2009). *Chitine et chitosane: du biopolymère à l'application*. Presses Univ. Franche-Comté.

Cuvelier, C., Cabaraux, J. F., Dufrasne, I., Hornick, J. L., & Istasse, L. (2004). Acides gras: nomenclature et sources alimentaires. In *Annales de Médecine Vétérinaire* (Vol. 148, No. 3). Annales Medecine Veterinaire, Liege, Belgium.

Deghiche, S., Aid, S., & Arbia, W. (2021). *Élaboration d'un émulsifiant naturel à base de biopolymère d'origine marine* (Doctoral dissertation).

Deroiné, M. (2014). *Étude du vieillissement de biopolymères en milieu marin* (Doctoral dissertation, Université de Bretagne Sud).

Didderen, I., Destain, J., & Thonart, P. (2008). *Le bioéthanol de seconde génération: la production d'éthanol à partir de biomasse lignocellulosique*. Presses agronomiques de Gembloux.

Doyon, M., Mondor, S., & Mondon, M. (2011). *Impacts du développement des biocarburants de seconde génération sur le marché des matières résiduelles*. Centre interuniversitaire de recherche en analyse des organisations.

El Hadji Babacar, L. Y. (2008). Nouveaux matériaux composites thermoformables à base de fibres de cellulose. *Institut National Polytechnique de Grenoble*.

Gate, P. (2007). Les variétés de blé se com la même façon face à l'ali. *Perspectives agricoles*, (332), 48.

Gélinas, L. (2014). *Plastiques biosourcés: étude de leur performance environnementale comparativement aux plastiques pétrochimiques*. Éditions universitaires européennes.

Gendron, C. (2004). *La gestion environnementale et la norme ISO 14001*. PUM.

Ginsac, N. (2011). *Caractérisation de matériaux composite polyacide lactique-bioverre pour application dans la réparation osseuse* (Doctoral dissertation, INSA de Lyon).

Gitz, V., & Ciais, P. (2003). Effets d'amplification du changement d'usage des terres sur le taux de CO₂ atmosphérique. *Comptes Rendus Geoscience*, 335(16), 1179-1198.

GIVRY, S. (2006). *Lactobacillus bifementans* (Doctoral dissertation, Université de Reims Champagne-Ardenne).

GUESMIA, A. B., & BENMADANI, W. (2022). *Les impacts environnementaux des déchets plastiques* (Doctoral dissertation, UNIVERSITE MOHAMED BOUDIAF-M'SILA).

Hacen, D. (2017). Etude des propriétés structurales et thermiques des mélanges polyacide lactique PLA.

HARBOUL, A. (2019). *L'intérêt des oligoéléments en dermatologie pédiatrique* (Doctoral dissertation).

Hasnaoui, H. (2018). *Utilisation des réseaux de neurones dans la prédiction de la perméabilité des polymères aux gaz et aux vapeurs* (Doctoral dissertation).

Hopkins, W. G. (2003). *Physiologie végétale*. De Boeck Supérieur.

Jordana, F., Le Visage, C., & Weiss, P. (2017). Substituts osseux. *médecine/sciences*, 33(1), 60-65.

Khalil, F. (2015). *Mélanges de polymères biodégradables immiscibles: influence de la morphologie sur le contrôle de la libération de substances actives ou modèles* (Doctoral dissertation, Université Claude Bernard-Lyon I).

Kurek, M., & Benbettaieb, N. (2022). Matériaux biosourcés et biodégradables. *Matériaux et procédés d'emballage pour les industries alimentaires, cosmétiques et pharmaceutiques (ISTE Edition, p. 169-208)*. <https://books.google.be/books>.

Ladj-Minost, A. (2012). *Répulsifs d'arthropodes à durée d'action prolongée: étude pharmacotechnique, devenir in situ et efficacité* (Doctoral dissertation, Université Claude Bernard-Lyon I).

Laifa, R. (2016). *Bioplastique, biodégradable, compostable, biosourcé pour les emballages alimentaires* (Doctoral dissertation).

Laouana, N. E. H., Dikes, N. E. H., Djellit, Z., & Khennouf, T. E. (2021). *Exopolysaccharides microbiens: diversités et applications alimentaires et médicales* (Doctoral dissertation, Université de jijel).

Ledoux, F. (2008). Travaux pratiques. *l'actualité chimique*, (323-324), 99.

Lévesque Riopel, M. (2022). *Valorisation de l'acide D-glucarique par une synthèse rapide, simple, verte et sans solvant de polyamides linéaires et non protégés à partir d'un dérivé estérifié* (Doctoral dissertation, Université du Québec à Rimouski).

Line, V. L. S. (2007). *Caractérisation d'émulsions gélifiées à froid de B-lactoglobuline destinées à la protection de molécules nutraceutiques* (Doctoral dissertation, Université Laval).

Lüllmann-Rauch, R. (2008). *Histologie*. De Boeck Supérieur.

MEGHERBI, R. (2021). LES BIOPOLYMERES.

MESSEBEL, A., & MESLEM, N. (2018). *Préparation de films plastiques a base de chitosane* (Doctoral dissertation, université ibn khaldoun-tiaret).

Mokaddem, A., & Boutaous, A. (2014). Structures et Propriétés des Biomatériaux.

Mrad, O. (2007). *Effet d'un plasma d'azote sur la stabilité de cathéters de polyuréthane* (Doctoral dissertation, Université Paris Sud-Paris XI).

Multon, B. (2003). Production d'énergie électrique par sources renouvelables. *Techniques de l'Ingénieur, Traité de Génie Electrique*.

Nicole, T., & François, G. (2013). *Des fruits et des graines comestibles du monde entier*. Lavoisier.

Nouani, D. (2016). *Etude des polymères biodégradables* (Doctoral dissertation).

Ouedraogo, K. A. J. (2019). *Stabilisation de matériaux de construction durables et écologiques à base de terre crue par des liants organiques et/ou minéraux à faibles impacts environnementaux* (Doctoral dissertation, Université Paul Sabatier-Toulouse III).

Ouedraogo, S., Yoda, J., Traore, T. K., Nitiema, M., Sombie, B. C., Diawara, H. Z., ... & Semde, R. (2021). Production de matières premières et fabrication des médicaments à base de plantes médicinales. *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, 15(2), 750-772.

RAGGAB Roufaïda, Z. A. (2021). Extraction et caractérisation du biopolymère à partir d'une plante médicinale et Optimisation des procédés d'extraction.

Rolland, L. (2013). *Propriétés physico-chimiques de capsules d'hydrogel à coeur liquide* (Doctoral dissertation, Université Pierre et Marie Curie-Paris VI).

Rutot, D., & Dubois, P. (2004). Les (bio) polymères biodégradables: l'enjeu de demain?. *CHIMIE NOUVELLE.*, (86), 66-74.

Saidi, A., Sadoudi, I., & Benimam, S. (2020). L'influence de l'ajout de la charge carbonate de calcium et la matière polypropylène broyée sur les propriétés d'un produit fait en PP.

SAIT, W. (2019). Production, impression et caractérisation de différents types des films polyéthylène basse densité (PEBD).

Salager, J. L., Antón, R. E., Anderez, J. M., & Aubry, J. M. (2001). Formulation des micro-émulsions par la méthode HLD. *Techniques de l'Ingénieur*, 157, 2001.

Soupart-Caron, A. S. (2015). *Stockage de chaleur dans les Matériaux à Changement de Phase* (Doctoral dissertation, Université Grenoble Alpes).

Stévoux, V. (2005). *Impact de l'utilisation de plantes de couverture sur les mauvaises herbes et leur gestion en culture de riz pluvial au Nord Vietnam* (Doctoral dissertation, Thèse de doctorat: Biologie de l'évolution et écologie, Montpellier, ENSA, Cirad).

Topanou, A. (2012). *Gestion des déchets solides ménagers dans la ville d'Abomey-Calavi (Bénin): caractérisation et essais de valorisation par compostage* (Doctoral dissertation, Aix-Marseille).

Vert, M. (2003). La chimie pour adapter les dispositifs thérapeutiques polymères à l'organisme humain. *Actualite Chimique*, (11/12), 20-25.

Vissac, A., Bourgès, A., Gandreau, D., Anger, R., & Fontaine, L. (2017). *argiles & biopolymères-les stabilisants naturels pour la construction en terre*.

Voet, D., & Voet, J. G. (2016). *Biochimie*. De Boeck Supérieur.

WEISS, P. (2010). La chimie des polymères. *Société Francophone de Biomateriaux Dentaires umvf. univnantes.fr/odontologie/enseignement*, 2009-2010.

Résumé

Depuis plusieurs années, les carapaces des crevettes ont été négligées et considérées comme un déchet. Par contre aujourd'hui, ce déchet joue un rôle très important dans différents domaines tels que l'industrie du plastique. Effectivement le chitosane est devenu un substitut des sources fossiles pour ces propriétés et caractéristiques. Le travail réalisé dans ce mémoire est relatif à la préparation du chitosane à partir des carapaces de crevettes récoltées dans la région de Skikda. Des traitements préliminaires différents (Lavage, Séchage, Broyage) sont appliqués aux produits de départ suivis par des applications d'extraction par voie chimique. Nous nous intéressons au premier lieu à l'extraction de la chitine à partir de la carapace de la crevette, ainsi qu'à sa conversion en chitosane, par des différentes méthodes d'extraction. Les produits obtenus ont été caractérisés par des tests de solubilité. Le chitosane obtenue est assez soluble pour de faible concentration en acide acétique toutefois plus la concentration augmente plus le taux de solubilité diminue. La détermination du degré de désacétylation (DDA) et le degré d'acétylation (DA) a été réalisée par la technique d'analyse infrarouge. Et l'analyse FRX a permis de déterminer la composition du biopolymère. Ce qui a permis de conclure que le chitosane a sa place dans l'industrie du plastique tout comme dans le domaine de la cosmétique et l'agroalimentaire.

Mot clés : Biopolymère, Biosourcé, Chitosane, FRX, FTIR.

Abstract

For many years, shrimp shells have been neglected as a waste product. Today, however, this waste product plays a very important role in various fields, such as the plastics industry. Indeed, chitosan has become a substitute for fossil sources for its properties and characteristics. The work carried out in this thesis concerns the preparation of chitosan from shrimp shells harvested in the Skikda region. Different preliminary treatments (washing, drying, grinding) are applied to the starting products, followed by chemical extraction applications. We are primarily interested in the extraction of chitin from shrimp shells, and its conversion into chitosan, using different extraction methods. The products obtained were characterized by solubility tests. The chitosan obtained is fairly soluble at low acetic acid concentrations, but as the concentration increases, the solubility rate decreases. The determination of the degree of deacetylation (DDA) and the degree of acetylation (DA) was carried out using the infrared analysis technique. FRX analysis determined the composition of the biopolymer. This led to the conclusion that chitosan has a place in the plastics industry, as well as in the cosmetics and agri-food sectors.

Key words: Biopolymer, Biobased, Chitosan, FRX, FTIR.

ملخص

لسنوات عديدة، تم إهمال قشور الجمبري كمخلفات. اليوم، ومع ذلك، يلعب منتج النفايات هذا دورًا مهمًا للغاية في مختلف المجالات، مثل صناعة البلاستيك. في الواقع، أصبح الشيتوزان بديلاً عن المصادر الأحفورية لخصائصه وخصائصه. يتعلق العمل المنفذ في هذه الأطروحة بتحضير الشيتوزان من قشور الجمبري التي يتم حصادها في منطقة سكيكدة. يتم تطبيق معالجات أولية مختلفة (غسيل، تجفيف، طحن) على منتجات البدء، تليها تطبيقات الاستخلاص الكيميائي. نحن مهتمون بشكل أساسي باستخراج مادة الكيتين من قشور الجمبري، وتحويلها إلى شيتوزان ، باستخدام طرق استخلاص مختلفة. تميزت المنتجات التي تم الحصول عليها باختبارات الذوبان. الشيتوزان الذي تم الحصول عليه قابل للذوبان إلى حد ما عند تراكيزات منخفضة من حمض الأسيتيك ، ولكن مع زيادة التركيز ، ينخفض معدل الذوبان. تم تحديد درجة نزع الأسيتيل (DDA) ودرجة الأسئلة (DA) باستخدام تقنية التحليل بالأشعة تحت الحمراء. حدد تحليل FRX تكوين البوليمر الحيوي. أدى ذلك إلى استنتاج مفاده أن الشيتوزان له مكان في صناعة البلاستيك، وكذلك في قطاعي مستحضرات التجميل والأغذية الزراعية.

الكلمات المفتاحية: البوليمر الحيوي، ذو القاعدة الحيوية ، الشيتوزان ، FTIR ، FRX