

République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique



Université 8 Mai 1945 Guelma
Faculté : des Sciences et de la Technologie
Département : Génie des procédés

Mémoire de Projet de Fin d'Etude

2^{ème} année Master

Spécialité : Génie des Procédés des Matériaux

Traitement des eaux par des bionanocomposites

Présenté par :

KHALFA Wafa

CHELGHOUM Dounia

Sous la direction de :

Dr. KOUADRI Imane

Année universitaire : 2023/2024

Remerciements

Nous remercions en premier lieu « **DIEU** » tout puissant de m'avoir accordé la puissance et la force, ainsi que l'audace pour dépasser toutes les difficultés et la volonté pour achever ce travail.

Ce travail a été effectué au niveau des laboratoires pédagogiques à l'Université 08 Mai 1945, Guelma sous la direction Madame **Imane KOUADRI**, Maître de Conférence classe A à l'Université 08 Mai 1945 de Guelma, département Génie des procédés.

Tout d'abord, Nous adressons nos sincères remerciements à Madame **Imane KOUADRI** pour son suivi, ses conseils judicieux et ses discussions qui nous a beaucoup aidé au cours de nos recherches qui nous a permis de mener à bien ce travail.

Nous exprimons aussi nos vives reconnaissances à tous **les enseignants** du département de Génie des procédés.

Merci **aux membres du jury** d'avoir accepté de lire et d'évaluer notre travail de recherche.

Afin de n'oublier personne, nos vifs remerciements s'adressent à tous ceux qui nous ont aidés à la réalisation de ce modeste mémoire.

CHELGHOU M Dounia

KHALFA Wafa

Dédicace

Je remercie tout d'abord Dieu, qui m'a accordé la force et le courage nécessaires pour accomplir ce travail modeste. Sa guidance et sa bénédiction m'ont soutenu à chaque étape de ce parcours.

Un remerciement spécial à ma mère, véritable lumière de ma vie, dont l'amour et le soutien indéfectible m'ont été d'une aide précieuse. À mon père, mon pilier, dont la force et la sagesse ont été une source constante d'inspiration et de réconfort.

À mes tantes maternelles, Zahia en particulier, et frères, Rami, Sami et Ibrahim, pour leur amour leur soutien constant.

À ma chère sœur, mon refuge unique et mon soutien en toutes circonstances. Je t'aime infiniment.

À mon amie et collègue Dounia, pour les moments que nous avons partagés, des souvenirs précieux qui resteront dans mon cœur.

À mes amis proches, Wided, Zoubida, Rania, Roufida, Israa, Wiam, Salma, et Khawla, votre amitié sincère et votre soutien m'ont apporté beaucoup de joie et de réconfort. Vous avez tous une place spéciale dans mon cœur.

Enfin, je remercie chaleureusement tous ceux qui m'aiment et que j'aime en retour. Votre affection et votre soutien ont été des piliers essentiels dans ma vie.

KHALFA Wefa

Dédicace

À la meilleure maman au monde, BRINET Louiza, dont l'amour inconditionnel et le soutien constant ont toujours été une source inépuisable de réconfort et de force. Ta présence dans ma vie est un trésor inestimable, et je te suis infiniment reconnaissant(e) pour tout ce que tu as fait pour moi, Je t'aime, maman.

À mon père, dont la confiance sans bornes en moi m'a donné le courage et la détermination de surmonter les obstacles. Ta foi en mes capacités a été une lumière tout au long de ce chemin. Je t'aime, papa.

À mes frères et sœurs, dont l'amour et le soutien m'ont accompagné dans chaque étape de ce voyage. Un remerciement spécial à mon frère Soufyane, pour son appui indéfectible et son encouragement constant, qui ont été essentiels à l'accomplissement de ce travail.

À mon amie Wefa, pour les moments inoubliables que nous avons partagés et la profonde amitié qui nous lie. Ta présence dans ma vie est une bénédiction, et chaque souvenir de nos moments ensemble est gravé dans mon cœur avec une tendresse particulière.

À mon amie et sœur Nada, dont l'amitié et la fidélité sont des piliers sur lesquels je peux toujours compter, et ma proche et chère ouijdan.

À mes camarades de classe, ATHAMENIA Rofaida et Israa, avec qui j'ai partagé des jours d'étude et de joie. Vos présences ont enrichi mon parcours et laissé des souvenirs impérissables.

CHELGHOUM Dounia

Table des matières

Tables des matières

Tables des matières	I
Liste des figures	V
Liste des tableaux	VII
Résumé.....	VIII
Introduction générale.....	1

Chapitre I : Généralité sur la chitine et chitosane

I.1. Introduction	3
I.2. Aperçu historique	3
I.3. La chitine.....	3
I.4. La chitosane.....	3
I.5. La source de la chitine et la chitosane.....	4
I.6. Les méthodes d'extraction de la chitine et chitosane.....	5
I.6.1. Les méthodes d'extraction chimique	5
I.6.1.1. Extraction de la chitine.....	5
I.6.1.2. Extraction de la chitosane.....	6
I.6.2. Les méthodes d'extraction biologique	7
I.6.2.1. Déminéralisation enzymatique.....	7
I.6.2.2. Déprotéinisation enzymatique.....	7
I.6.2.3. Fermentation	7
I.7. Propriétés de la chitine et du chitosane	8
I.7.1. Les propriétés physico-chimiques	8
I.7.1.1. Cristallinité.....	8
I.7.1.2. Degré de N-acétylation	8
I.7.1.3. La masse moléculaire molaire	8
I.7.1.4. La viscosité.....	8
I.7.1.5. Solubilité.....	8
I.7.2. Les propriétés biologiques	8
I.8. Les applications de la chitine et la chitosane	9
I.8.1. Domaine biomédical.....	9
I.8.2. Domaine agroalimentaire	9
I.8.3. Domaine des matériaux	9
I.8.4. Domaine des cosmétiques.....	9
I.8.5. Domaine de traitement des eaux.....	10
I.9. Conclusion	10
Références bibliographiques	11

Chapitre II : Étude bibliographique sur les nanoparticules

II.1. Introduction	13
II.2. Nanoparticules	13
II.3. Classification des nanoparticules.....	13
II.3.1. Classification des nanoparticules en fonction de leurs dimensions.....	13
II.3.2. Classification des nanoparticules en fonction de leurs sources	14
II.3.2.1. Les nanoparticules d'origine naturelle.....	14
II.3.2.2. Les nanoparticules manufacturées	14
II.3.3. Classification des nanoparticules en fonction leurs composition chimique	14
II.3.3.1. Les nanoparticules organiques	14
II.3.3.2. Les nanoparticules inorganiques	15
II.3.3.3. Les nanoparticules à base de carbone	15
II.4. Les propriétés des nanoparticules	16
II.4.1. Les propriétés de surface.....	16
II.4.2. Les propriétés optiques	17
II.4.3. Les propriétés mécaniques	17
II.4.4. Les propriétés électroniques	17
II.4.5. Les propriétés de transfert thermique.....	17
II.4.6. Les propriétés magnétiques	17
II.4.7. Les propriétés catalytiques.....	17
II.4.8. Les propriétés biologiques	18
II.5. Les paramètres caractéristiques physiques des nanoparticules	18
II.5.1. La taille	18
II.5.2. Le diamètre équivalent.....	18
II.5.3. La forme des particules	18
II.6. Les procédés d'élaboration des nanoparticules	18
II.6.1. La méthode descendante (Top-down).....	18
II.6.2. La méthode ascendante (Bottom-up).....	19
II.6.3. La synthèse verte.....	19
II.7. Les domaines d'applications des nanoparticules	20
II.7.1. Aéronautique et automobile	20
II.7.2. Électronique et communication	20
II.7.3. Agroalimentaire.....	20
II.7.4. Chimie et matériaux	20
II.7.5. Construction.....	20
II.7.6. Pharmacie et santé	20
II.7.7. Cosmétique.....	20
II.7.8. Énergie	21
II.7.9. Environnement et écologie.....	21

II.8. Conclusion	21
Références bibliographiques	22

Chapitre III : Matériels, méthodes et techniques de caractérisation

III.1. Introduction	23
III.2. Matériels et Méthodes expérimentales	23
III.2.1. Matériels	23
III.2.2. Extraction de la chitine et du chitosane	23
III.2.2.1 Le prétraitement	23
III.2.2.2. La déminéralisation	24
III.2.2.3. La déprotéinisation	24
III.2.2.4. La décoloration	24
III.2.2.5. La désacétylation.....	24
III.3. Synthèse verte des nanocomposites	25
III.3.1. Préparation de la solution de chitosane.....	25
III.3.2. Biosynthèse des nanocomposites ZnO/MgO.....	25
III.4. Étude de l'adsorption de bleu de méthylène par le bionanocomposites préparé	26
III.5. Techniques de caractérisation physico-chimiques	27
III.5.1. Analyse par spectroscopie Infrarouge à transformée de Fourier (FTIR)	27
III.5.2. Détermination du degré de désacétylation (DD%).....	27
III.5.3. Spectromètre d'absorption UV-visible	28
III.6. Conclusion	28
Références bibliographiques	29

Chapitre IV : Résultats et discussions

IV.1. Introduction	30
IV.2. Résultats de l'extraction	30
IV.2.1. Teneur en matière sèche de champignons	30
IV.2.2. Extraction de la chitine et du chitosane.....	30
IV.2.2.1. Prétraitement.....	31
IV.2.2.2. La déminéralisation	31
IV.2.2.3. La déprotéinisation	31
IV.2.2.4. La décoloration.....	31
IV.2.2.5. La désacétylation	31
IV.3. Résultats des caractérisations physico-chimiques.....	32
IV.3.1. La spectroscopie infrarouge (FTIR)	32
IV.3.2. Le degré d'acétylation (DD)	32
IV.4. Évaluation de l'activité photocatalytique	33

Tables des matières

IV.4.1. Activité photocatalytique du chitosane	33
IV.4.2. Activité photocatalytique du nanocomposite ZnO-MgO-Chitosane.....	35
Références bibliographiques	37
Conclusion générale.....	38
Annexe 1275	

Listes des figures et des tableaux

Liste des figures

Chapitre I : Généralité sur la chitine et chitosane

Figure I.1: La structure chimique de la chitine.....	3
Figure I.2 : La structure chimique de la chitosane.....	4
Figure I.3 : Les sources de la chitine.....	4
Figure I.4: Les étapes d'extraction chimique de la chitine et de chitosane à partir de Carapaces de crustacés (Crevettes)	6
Figure I.5 : La désacétylation de la chitine par voie chimique, enzymatique et par ultrasonique	6
Figure I.6: Les étapes d'extraction enzymatique et chimique de la chitine et de chitosane à partir des différentes sources	7
Figure I.7 : Les différentes applications de la chitine et la chitosane	10

Chapitre II : Étude bibliographique sur les nanoparticules

Figure II.1 : Vue en microscopie électronique en transmission (TEM) de nanoparticules, avec des diamètres de 20 nm (a), 45 nm (b), et 80 nm (c). L'image (d) présente une vue en microscopie électronique à balayage.	13
Figure II.2 : Les différentes dimensions des nanoparticules.	14
Figure II.3 : Exemples de nanoparticules organiques et inorganiques, avec leur taille, leur forme et les matériaux qui les composent.....	16
Figure II.4 : Mise en évidence de particules solides en solution grâce à a diffusion.	17
Figure II.5: Deux approches de fabrication des nanomatériaux.....	19
Figure II.6 : Schéma illustrant les différentes approches de fabrication des nanoparticules.	19

Chapitre III : Matériels, méthodes et techniques de caractérisation

Figure III.1 : Les champignons utilisés au cours de travail.	23
Figure III.2 : Les étapes de préparation de la matière première.	23
Figure III.3 : Les étapes d'extraction du chitosane à partir des champignons.	24
Figure III.4 : Les étapes de préparation de la solution de chitosane.....	25
Figure III.5: Les étapes de préparation de nanocomposite à l'aide de chitosane.	25
Figure III.6 : Protocole de préparation de la solution mère de Bleu de Méthylène.	26
Figures III.7 : Les étapes d'étude d'adsorption sur les bionanocomposites préparées.	26
Figure III.8: Représentation schématique du principe de la spectroscopie Infrarouge à Transformée de Fourier.....	27
Figure III.9 : Spectre IR de chitosane sur la désacétylation avec les lignes de base pour la détermination de l'absorbance	28
Figure III.10 : Représentation schématique du Principe de la spectrophotomètre UV-Visible.....	28

Chapitre IV : Résultats et discussions

Figure IV. 1 : Schéma des différentes étapes d'extraction de la chitine et chitosane avec les rendements massiques.....	30
Figure IV. 2 : Schéma descriptive de la méthode d'obtention du chitosane à partir de chitine.	31
Figure IV.3 : Le spectre FTIR de chitosane.	32
Figure IV.4 : Evolution des spectres d'absorption UV –Visible du bleu de méthylène en fonction du temps et sous irradiation solaire par chitosane.	33
Figure IV.5 : L'efficacité de dégradation du bleu de méthylène par le chitosane.	34
Figure IV.6 : Schéma des interactions hydrophobes, des attractions électrostatiques et des liaisons hydrogène entre le chitosane et le bleu de méthylène.....	34
Figure IV.7 : Evolution des spectres d'absorption UV –Visible du Bleu de méthylène en fonction du temps et sous irradiation solaire par le nanocomposite ZnO-MgO-Chitosane.	35
Figure IV.8 : L'efficacité de dégradation du bleu de méthylène par le nanocomposite ZnO-MgO-Chitosane.....	36

Liste des tableaux

Chapitre I : Généralité sur la chitine et chitosane

Tableau I.1 : les source de la chitine 4

Chapitre II : Étude bibliographique sur les nanoparticules

Tableau II.1 : La relation entre la taille des particules et le nombre d'atomes en surface.16

Résumé

Résumé

Le chitosane, l'un des biopolymères les plus abondants dans la nature, présente une valeur économique élevée en raison de sa biocompatibilité, de sa biodégradabilité et de son absence de toxicité. Cette étude a permis d'extraire le chitosane à partir de champignons et de le soumettre à un processus de préparation en cinq étapes (prétraitement, déminéralisation, déprotéinisation, blanchiment et désacétylation). Le chitosane extrait est ensuite utilisé pour la biosynthèse d'un bio-nanocomposite hautement pur (ZnO-MgO-Chitosane) qui agit comme agent stabilisant pour contrôler l'efficacité photocatalytique. L'effet du degré de désacétylation (DD) du chitosane sur l'élimination des colorants des eaux usées a été étudié à l'aide du test de photodégradation au bleu de méthylène (MB). Le chitosane extrait a montré d'excellentes propriétés physico-chimiques, notamment un rendement d'extraction de 3,70 % et un degré élevé de désacétylation (98 %). L'étude met en évidence l'adéquation du nanocomposite synthétisé ZnO-MgO-Chitosane comme photocatalyseur efficace pour la dégradation du colorant bleu de méthylène et comme matériau respectueux de l'environnement. L'efficacité d'élimination du bleu de méthylène par le chitosane et le ZnO-MgO-Chitosane a atteint 98,56 % en un temps de contact de 330 minutes.

Mots clés : Champignons, Chitosane, Bio-nanocomposite, Photodégradation, bleu de méthylène

Abstract

Chitosan is one of the most abundant biopolymers in nature with high economic value due to its biocompatibility, biodegradability, and lack of toxicity. This study extracted chitosan from the mushrooms and underwent a five-step preparation process (Pretreatment, demineralization, deproteinization, bleaching, and deacetylation), and then the chitosan is used for the biosynthesis of highly pure bio-nanocomposite (ZnO-MgO-Chitosan) as a capping and a stabilizer agent to control the photocatalytic efficiency. The effect of the DD of chitosan on the dye removal from wastewater was also investigated using the MB photodegradation test. The extracted chitosan exhibited excellent physicochemical properties, including an extraction yield (3,70 %) and a high degree of deacetylation (98%). The study emphasizes the suitability of synthesized ZnO-MgO-Chitosan nanocomposite as an effective photocatalyst for MB dye degradation and an environmentally friendly composite. The MB dye removal of chitosan and ZnO-MgO-Chitosan reached 98,56% at a contact time of 330 min.

Keywords: Mushrooms, Chitosan, Bio-nanocomposite, Photodegradation, methylene blue

المخلص

الشيتوزان هو أحد البوليمرات الحيوية الأكثر وفرة في الطبيعة وله قيمة اقتصادية عالية بسبب توافقه الحيوي وقابليته للتحلل البيولوجي وقلة سميته. استخرجت هذه الدراسة الشيتوزان من الفطر وخضعت لعملية تحضير في خمس خطوات (المعالجة المسبقة، ونزع المعادن، وإزالة البروتين، والتبييض، ونزع الأسيتيل)، ثم تم استخدام الشيتوزان في التخليق الحيوي لمركب نانوي ZnO-MgO-Chitosan عالي النقاء كغطاء وعامل استقرار للتحكم في كفاءة التحفيز الضوئي. تم أيضًا دراسة تأثير درجة نزع الأسيتيل (DD) للشيتوزان على إزالة الصبغة من مياه باستخدام اختبار التحلل الضوئي لازرق الميثيلين. أظهر الشيتوزان المستخرج خصائص فيزيائية وكيميائية ممتازة، بما في ذلك عائد الاستخلاص 3,70% ودرجة عالية من نزع الأسيتيل وصلت إلى 98%. تؤكد الدراسة على مدى ملائمة المركب النانوي ZnO-MgO-Chitosan كمحفز ضوئي فعال لتحلل صبغة أزرق الميثيلين وكذلك كمركب صديق للبيئة. وصلت إزالة صبغة أزرق الميثيلين من الشيتوزان و ZnO-MgO-Chitosan إلى 98,56% في وقت اتصال قدره 330 دقيقة.

الكلمات المفتاحية: الفطر، الشيتوزان، مركب النانو الحيوي، التحلل الضوئي، أزرق الميثيلين

Introduction générale

Le traitement des eaux par bionanocomposites incarne une convergence remarquable entre la biologie, la nanotechnologie et l'ingénierie environnementale, ouvrant la voie à une nouvelle ère de purification de l'eau. Ces matériaux révolutionnaires intègrent des nanoparticules avec des composants biologiques, exploitant ainsi les caractéristiques uniques de chaque élément pour éliminer efficacement les contaminants présents dans l'eau.

Les nanostructures offrent une surface spécifique élevée, permettant une adsorption efficace des polluants, tandis que les éléments biologiques fournissent un environnement propice à l'activité microbienne, essentielle pour la dégradation des contaminants organiques. Ensemble, ils forment un système synergique qui agit de manière ciblée pour purifier l'eau, éliminant les polluants nuisibles tout en préservant les composants essentiels [1-3].

C'est dans ce contexte, nous nous intéressons au développement de composés nanométriques pour absorber les contaminants organiques et inorganiques présents dans les eaux troubles. Parmi ces composés nanométriques figurent les polymères biologiques, pouvant être naturellement extraits de cellules vivantes, disponibles à partir de diverses sources naturelles (animales ou végétales). Cette étude est basée sur la chitine et ses dérivés, en raison de leurs propriétés physiques, chimiques et biologiques distinctives, ainsi que de leurs nombreuses applications dans divers domaines.

Ce manuscrit est organisé de la manière suivante :

- Le premier chapitre (I) intitulé : « Généralité sur la chitine et la chitosane » présente une revue de la littérature sur la description de la chitine et de la chitosane par leurs utilisations et leurs intérêts.
- Le deuxième chapitre (II), intitulé : « Étude bibliographique sur les nanoparticules », présente une revue de la littérature sur la description des nanoparticules par leurs utilisations et leurs intérêts par des scientifiques et des industriels et leurs applications dans des différents domaines.
- Le troisième chapitre (III) intitulé : « Matériels, méthodes et techniques de caractérisation » porte sur le matériel et les méthodes d'analyse utilisées.
- Le quatrième chapitre (IV) intitulé : « Résultats et discussions » sera consacré à la présentation des résultats obtenus ainsi qu'à leur discussion.
- Une conclusion générale clôturera ce travail où sont récapitulés les principaux résultats obtenus.

Références bibliographiques

[1] : MESSADIA Ryma. Elaboration et caractérisation des nanoparticules de ZnO par co-précipitation. Application à la photo dégradation de méthyle orange. Mémoire de Master, Université de Annaba, 2018.

[2] : BERRA Djamilia. Synthèse verte et caractérisation de nanoparticules métalliques par l'extrait des feuilles de Phoenix Dactylifera L et leur activités biologiques. Thèse de doctorat, Université El oued, 2020.

[3] : KHEMISSAT Ghizlane, ALLOUNE Maria. Synthèse verte et caractérisation des nanoparticules à l'aide d'extrait de la menthe. Mémoire de Master, Université de Ouargla, 2021.

Partie Théorique

Chapitre I : Généralité sur la chitine et chitosane

I.1. Introduction

La chitine et la chitosane sont des biopolymères naturels, les plus abondants dans la nature après la cellulose, qui jouent un rôle crucial dans diverses applications industrielles, médicales et environnementales en raison de leurs propriétés uniques et de leurs disponibilités abondantes dans la nature [1]. Dans ce premier chapitre, nous présenterons une revue de la littérature sur la description de la chitine et de la chitosane par leurs utilisations et leurs intérêts par des scientifiques et des industriels et leurs applications dans des différents domaines.

I.2. Aperçu historique

La Chitine a été découverte par un scientifique anglais A. Hachett, qui a rapporté en 1799, mais comme il n'a pas poussé ses investigations plus loin, la découverte de la chitine est généralement attribuée à un naturaliste français Henri Braconnot en 1811 et lui a donné le nom de "fungine" [1]. En 1859, Charles Rouget obtient une chitine modifiée ; ce produit soluble dans les solutions aqueuses acides, est baptisé chitosane par le chimiste allemand Félix Hoppe-Seyler en 1894 [2]. La production de la chitine a débuté en 1920, mais la structure des biopolymères (chitine et chitosane) n'a été identifiée que 50 ans plus tard à travers la cristallographie et la spectroscopie infrarouge [1].

I.3. La chitine

C'est un polymère structural présent dans l'exosquelette des insectes, les arachnides et les crustacés, ainsi que dans la paroi cellulaire de certains. La chitine est un homopolymère de N-acétyl-D glucosamine lié à la β -(1 \rightarrow 4), l'un des polymères naturels renouvelables les plus abondants et facile à obtenir ; mais ce polymère n'est pas soluble dans les solvants usuels et pour son utilisation, des modifications chimiques sont effectuées. La modification la plus courante, est sa transformation en chitosane [3].

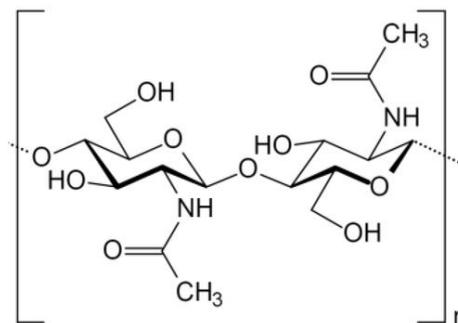


Figure I.1: La structure chimique de la chitine [6].

I.4. La chitosane

Le chitosane est un copolymère de glucosamine et du motif N-acétylglucosamine lié par 1-4 glucostatiques. C'est une fibre comme la cellulose, il possède la capacité de former des films, des structures optiques caractéristiques. Ce copolymère peut être obtenu par N-désacétylation de la chitine à partir de plusieurs étapes [3]. Le chitosane est soluble en milieu acide, contrairement à la chitine qui est insoluble. Il est important de faire la distinction entre le degré d'acétylation (DA) et le degré de désacétylation (DD). L'un étant l'inverse de l'autre, c'est-à-dire que du chitosane ayant un DD de 85 %, possède 15 % de groupements acétyles et 85 % de groupements aminés sur ses chaînes [4].

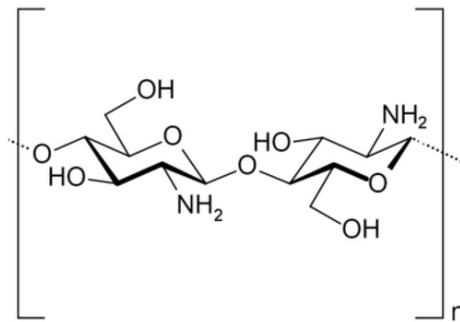


Figure I.2 : La structure chimique de la chitosane [6].

I.5. La source de la chitine et la chitosane

La chitine est le deuxième composant très abondant dans la nature après la cellulose. Elle n'existe que sous la forme de complexes avec des protéines et des minéraux.

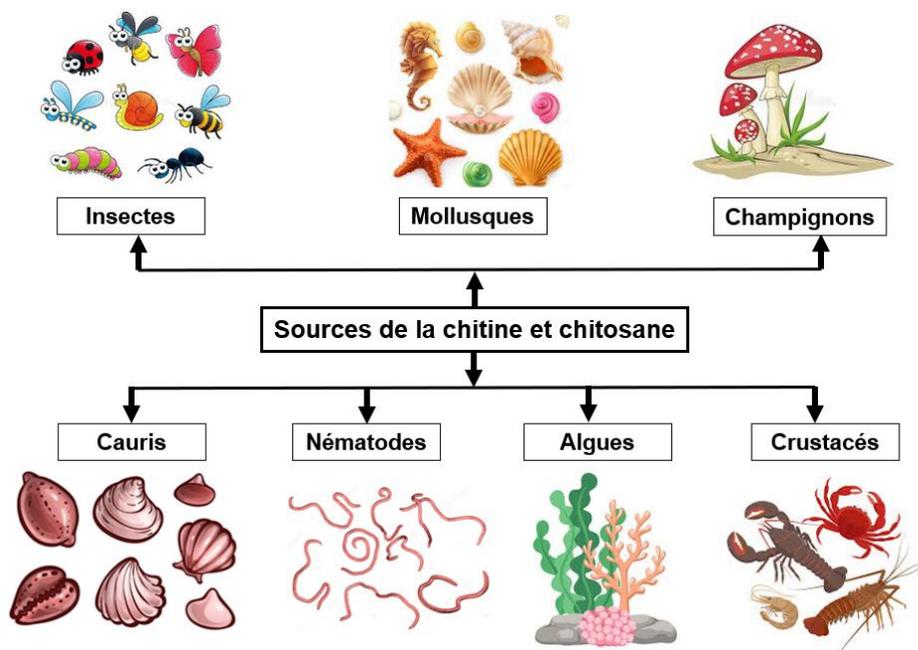


Figure I.3 : Les sources de la chitine [11].

La chitine est principalement produite par des organismes vivants : elle est le principal composant structurel de soutien des parois cellulaires des champignons, des exosquelettes d'arthropodes comme celles des crustacés et des insectes, ou encore des becs de céphalopodes [9]. Ce tableau montre les sources courantes de chitine :

Tableau I.1 : les source de la chitine [10].

Sources	Sites de présence	Teneur en chitine (%)
CHAMPIGNONS Ascomycètes, Basidiomycètes Phycomycètes	Paroi cellulaire, Mycélium, Tige, Spore	2,9 - 20,1
ALGUES Chlorophycées, Diatomées marines	Paroi cellulaire	Faible
CNIDAIRES Anthozoaires, Hydrozoaires	Capsule d'œufs, Membranes internes et médianes	3 - 30

BRACHIOPODES Articulés, Inarticulés	Cuticules, Cuticules et coquilles	4 - 29
ANNELIDES Polychètes	Soies	0,2 -38
MOLLUSQUES Polyplacophores, Gastéropodes, Céphalopodes Lamellibranches	Coquille et dents, Coquille, dents et plaque stomacale, Coquille, plume et dents Coquille	6 – 40
ARTHROPODES Crustacés, Insectes, Arachnides	Exosquelette, membrane entre les segments, cuticule	2 – 72
POGONOPHORES	Tubes	33

I.6. Les méthodes d'extraction de la chitine et chitosane

De nombreuses méthodes ont été développées afin d'extraire la chitine à partir des carapaces de crustacés, comme les méthodes par voie chimique et enzymatique. De manière générale, ces méthodes consistent à éliminer les protéines (déprotéinisation), les éléments minéraux (démminéralisation) et la couleur (blanchiment) [12].

I.6.1. Les méthodes d'extraction chimique

I.6.1.1. Extraction de la chitine

Les étapes d'extraction de la chitine à partir des déchets des crevettes (carapace, tête, pattes) comportent :

- **Démminéralisation**

Cette étape consiste à éliminer les minéraux (principalement des carbonates de calcium CaCO₃) dans un milieu acide. Les acides utilisés pour cette étape sont : HCl, HNO₃, H₂SO₄, CHCOOH et HCOOH. Pour des raisons économiques, l'acide hydrochlorique (HCl) est le plus fréquemment utilisé [8,12].



- **Déprotéinisation**

Cette étape consiste à éliminer les protéines adhérentes à la chitine par solubilisation dans un milieu basique. Les réactifs employés sont des bases fortes comme NaOH, Na₂CO₃, NaHCO₃, KOH, K₂CO₃, Ca (OH)₂. L'hydroxyde de sodium (NaOH) est le plus couramment utilisé [1].

- **Décoloration**

A la fin de la phase précédente, la chitine est produite. Cependant, il est très difficile d'obtenir un produit pur à cause des fortes interactions entre la chitine, les pigments et les protéines. Généralement, l'agent de blanchiment employé est le peroxyde d'hydrogène (H₂O₂) pour objectif d'éliminer des traces de pigments résiduels. Les autres agents de blanchiment sont l'hypochlorite de sodium (NaClO), le permanganate de potassium (KMnO₄), l'acétone, l'éthyle-acétate et l'acide oxalique [1].

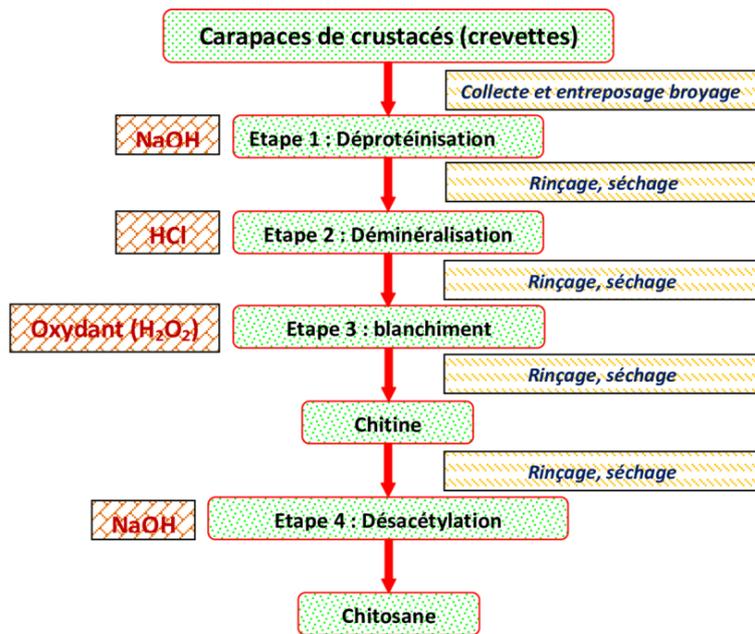


Figure I.4: Les étapes d'extraction chimique de la chitine et de chitosane à partir de Carapaces de crustacés (Crevettes) [10].

I.6.1.2. Extraction de la chitosane

La chitine contient des groupements acétyle qui limite son utilisation dans diverses applications, c'est pour cela l'élimination de ces groupements afin d'obtenir le chitosane.

- **Désacétylation**

Cette étape s'effectue par un traitement avec NaOH dont elle nécessite une réduction dans la longueur de chaîne de la chitine par la substitution de groupement acétyle pour obtenir le chitosane, et le rendement de la désacétylation peut être influencé par certains facteurs comme la température, la durée de traitement aussi par la quantité de la chitine par rapport à la solution d'alcaline [13]. La désacétylation se fait par voie chimique, enzymatique ou par ultrasons.

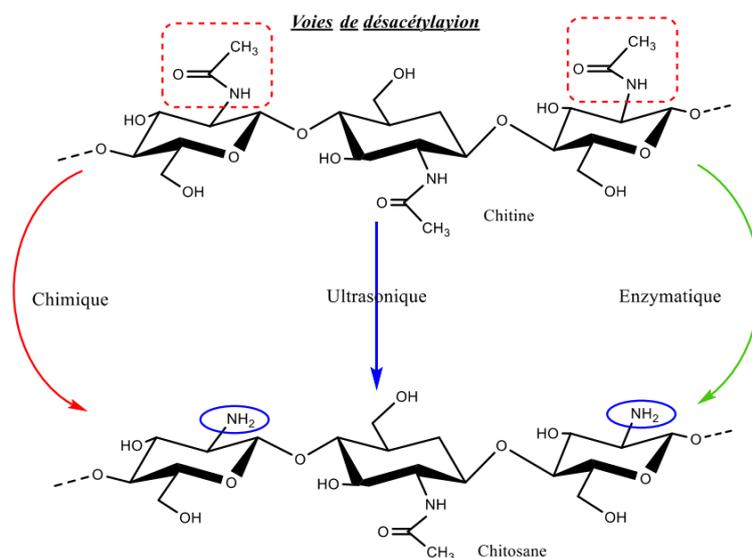


Figure I.5 : La désacétylation de la chitine par voie chimique, enzymatique et par ultrasonique [11].

I.6.2. Les méthodes d'extraction biologique

Les méthodes biologiques d'extraction de la chitine ont été développées récemment. Ils peuvent utiliser des enzymes purifiées ou des microorganismes entiers. Bien que plus respectueuses de l'environnement, ces méthodes restent moins efficaces. Ces inconvénients rendent la méthode enzymatique peu susceptible d'être appliquée à l'échelle industrielle à moins que des progrès ne soient faits pour rendre le procédé plus efficace [1].

Trois étapes sont utilisées pour l'extraction enzymatique de la chitine, la déminéralisation, la déprotéinisation et la fermentation.

I.6.2.1. Déminéralisation enzymatique

La déminéralisation enzymatique implique un acide organique et des micro-organismes tels que les bactéries (productrices d'acide lactique) réagissant avec le carbonate de calcium présent dans les coquilles brutes. Les sels organiques de calcium précipités sont éliminés par lavage et sont utilisés comme conservateurs et agents antigivrants [13].

I.6.2.2. Déprotéinisation enzymatique

Dans le processus de déprotéinisation enzymatique, les protéases, des bactéries peuvent éliminer les protéines. Généralement, les enzymes protéolytiques sont obtenues à partir de plantes, de microbes et de sources animales. Ils éliminent les protéines et réduisent les étapes des processus préliminaires.

I.6.2.3. Fermentation

Une déprotéinisation par fermentation lactique ou non lactique à l'aide des micro-organismes endogènes (appelé auto-fermentation) avec des bactéries ou des champignons permet la diminution du coût élevée d'utilisation des enzymes avec un procédé respectueux de l'environnement et des sous-produits peuvent être récupérés et réutilisés [19].

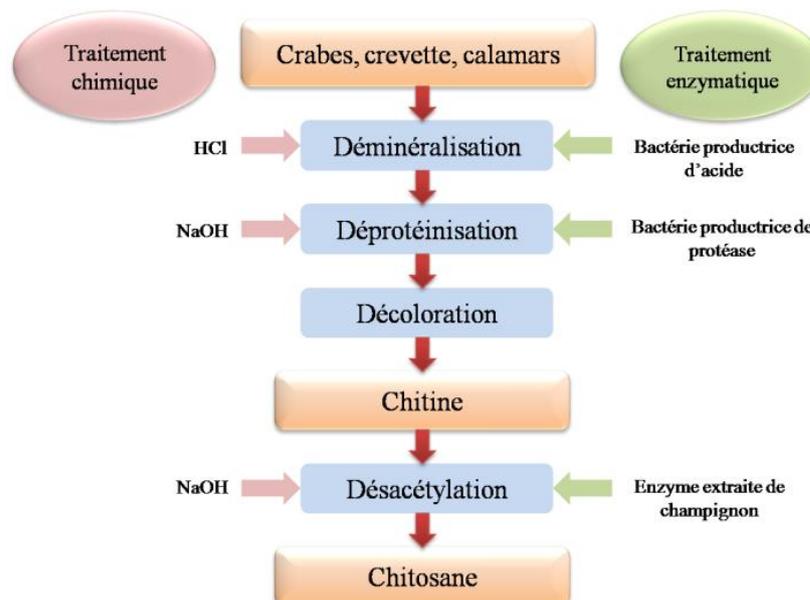


Figure I.6: Les étapes d'extraction enzymatique et chimique de la chitine et de chitosane à partir des différentes sources [19].

I.7. Propriétés de la chitine et du chitosane

I.7.1. Les propriétés physico-chimiques

I.7.1.1. Cristallinité

Les chitines rencontrées dans le milieu naturel diffèrent non seulement par leur masse moléculaire et leur degré de désacétylation, mais également par leur état cristallin. Le chitosane est également une substance (semi)- cristalline. Il cristallise dans le système ortho- rhombique et deux types de produits sont connus : le chitosane 1 (faible degré de désacétylation, sous forme de sel) est plus désordonné que le chitosane 2 (fort degré de désacétylation, forme amine libre) [16].

I.7.1.2. Degré de N-acétylation

Le degré de désacétylation (DDA) est le terme correct pour décrire la proportion d'unités désacétylées dans le chitosane. Pour clarifier, lorsque le DA ou le DDA est évoqué, il fait référence au pourcentage d'unités monomères de N-acétylglucosamine dans la chitine ou le chitosane qui conservent ou perdent leur groupe acétyle. Le DA peut être déterminé par spectroscopie FTIR et UV-Visible, conductimétrie et pH-métrie. Ces techniques sont effectivement utilisées pour analyser la composition et les propriétés chimiques des polymères comme le chitosane, en particulier pour évaluer le DA ou le DDA [17].

I.7.1.3. La masse moléculaire molaire

La masse moléculaire (MM) du chitosane est la deuxième principale caractéristique après la DD. La valeur de la MM d'un chitosane dépend intimement du procédé de fabrication, car celui-ci peut induire une dépolymérisation des chaînes macromoléculaires et/ou une dégradation lors de sa production. La masse molaire initiale de la chitine acétylée se situe entre $8 \cdot 10^5$ et 10^6 g/mol, et le poids moléculaire moyen (M_w) du chitosane avec 100% de DDA : est de 500kDa [17].

I.7.1.4. La viscosité

La viscosité de la solution de chitosane en acide acétique dépend de plusieurs facteurs. Cette propriété est particulièrement pertinente, car la viscosité peut être utilisée comme un indicateur pour déterminer le poids moléculaire moyen du polymère. La chitine, étant insoluble, n'est pas concernée par cette propriété [17].

I.7.1.5. Solubilité

La solubilité de chaque chitosane dépend de plusieurs facteurs, notamment le poids moléculaire du polymère, le degré d'acétylation, le pH, la température et la cristallinité du polymère. Comparé à la chitine, le chitosane peut être aisément solubilisé dans des acides dilués, en particulier des solutions acides polaires, en raison de ses propriétés de cristallinité élevées [13].

I.7.2. Les propriétés biologiques

La chitine et le chitosane présentent des propriétés biologiques intéressantes telles que :

- Non toxique ;
- Biodégradable ;

- Biocompatible (hémobiocompatible, absorbante, non fermentescible) ;
- Bioadhésif (mocu-adhésivité, formation de film biologique) ;
- Bioactif (activités antimicrobienne et antifongique, agents antiulcère et antitumorale) ;
- Propriétés anticoagulantes et anticholestérol [20].

I.8. Les applications de la chitine et la chitosane

Les propriétés distinctes (biocompatible, biodégradable, non allergène et non toxique) de la chitine et du chitosane ont conduit à leur utilisation stratégique dans des secteurs économiquement porteurs tels que l'alimentation, la cosmétique, la pharmaceutique et l'agriculture [21].

I.8.1. Domaine biomédical

Les applications biomédicales du chitosane sont liées à ses propriétés biologiques les plus importantes. Il est utilisé :

- Pour la régénération tissulaire ;
- Antibactérien ;
- Anti-inflammatoires ;
- Hémostatique ;
- Agent d'administration des médicaments (sous forme de microcapsules ou de microsphères) contenant les substances à délivrer à l'intérieur) ;
- Support pour l'immobilisation des enzymes et des cellules [13,22].

I.8.2. Domaine agroalimentaire

Dans le secteur agroalimentaire, la chitine trouve une utilité diversifiée. D'une part, elle est employée pour désacidifier les extraits de café, les jus de fruits ou de légumes. D'autre part, elle est mise à profit en tant qu'agent de conservation alimentaire, grâce à sa capacité à immobiliser les cellules microbiennes ou fongiques. Le chitosane, en raison de sa propriété coagulante, joue un rôle crucial dans le traitement des déchets alimentaires industriels. Il permet la séparation efficace des particules colloïdales et dispersées, contribuant ainsi à la gestion durable des résidus [1].

I.8.3. Domaine des matériaux

Le chitosane a été largement utilisé dans le domaine des matériaux, notamment en tant que matière plastique pour la production de films antimicrobiens destinés à l'industrie alimentaire, assurant la protection des légumes frais, des fruits et de la viande. Le chitosane a été utilisé aussi comme support de catalyseur pour augmenter les capacités d'échange de surface et l'utilisation de liquides ioniques. Elle contribue à la mise en œuvre des principes de chimie verte en minimisant la quantité de produit nécessaire et en utilisant des matières premières renouvelables [1].

I.8.4. Domaine des cosmétiques

Dans le domaine des cosmétiques, le chitosane trouve des applications grâce à ses propriétés filmogènes et cationiques, utilisées dans des crèmes et lotions pour les cheveux et la peau. Des produits tels que des crèmes antifongiques, des crèmes amincissantes, revitalisantes, raffermissantes, ou hydratantes exploitent les avantages du chitosane [1].

I.8.5. Domaine de traitement des eaux

Le chitosane est utilisé dans le traitement des eaux usées, avec une capacité de régénération et nature écologique qui permet son utilisation pour l'élimination par adsorption des métaux (Cu (II), Cd (II), Pb (II), Fe (III), Zn (II), Cr (III), etc.) et des colorants des eaux usées industrielles, ainsi que pour l'élimination d'autres polluants organiques, tels que les pesticides organochlorés, organiques oxydés, ou gras et impuretés de l'huile [1].

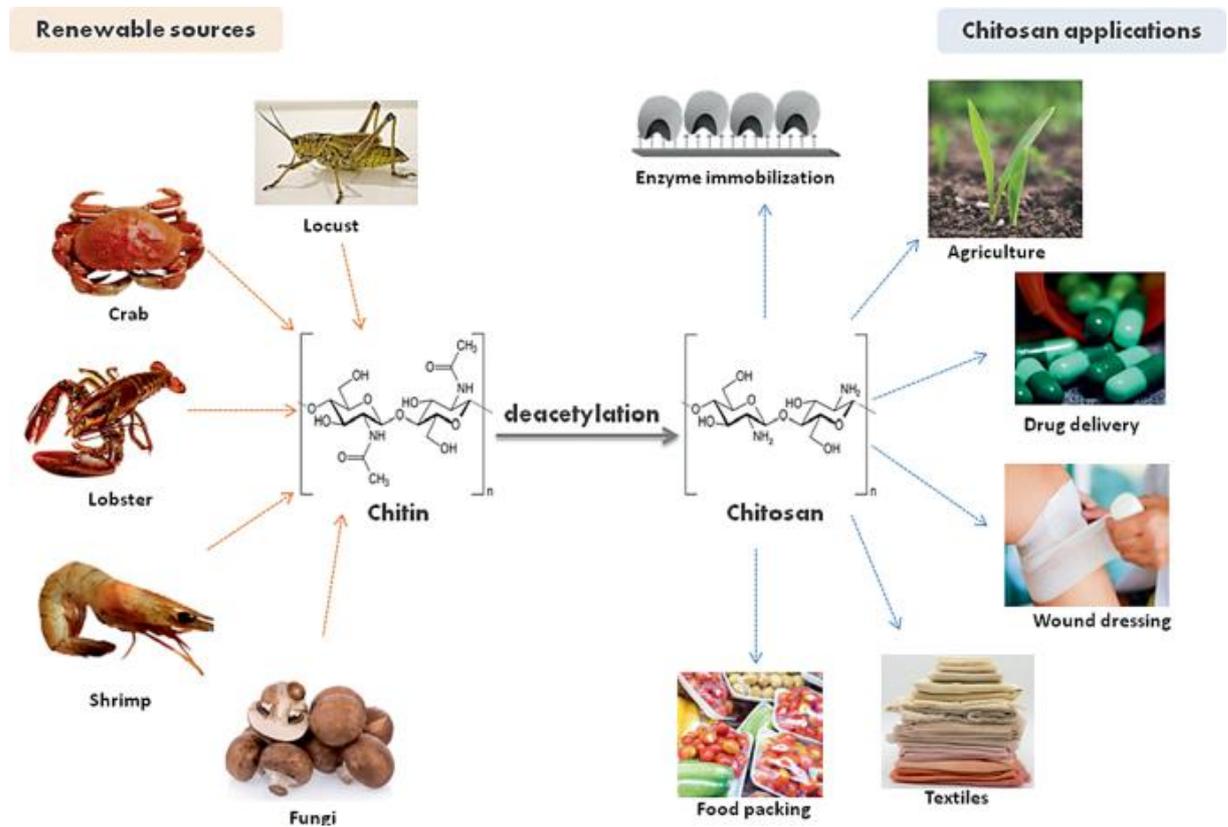


Figure I.7 : Les différentes applications de la chitine et la chitosane [22].

I.9. Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons dévoilé la richesse du chitosane en tant que polymère naturel. Nous avons également révélé ses propriétés telles que la cristallinité, la viscosité, le degré de désacétylation et la solubilité. De plus, nous avons cartographié les multiples sources naturelles de chitosane. Nous avons exploré avec minutie comment ces caractéristiques peuvent évoluer en fonction des méthodes d'extraction employées, soulignant ainsi la diversité intrinsèque de ce polymère.

Références bibliographiques

- [1] : HASSAINIA Abdelghani. Obtention du biopolymère « chitine » à partir du champignon « agaricusbisporus » : Extraction et caractérisation. Thèse doctorat, Université 8 Mai 1945, Guelma, 2018.
- [2] : <https://new.societechimiquedefrance.fr/produits/chitine-et-chitosane/>
- [3] : SEBIHI Sarah. L'emploi du chitosane en synergie avec les sulfates d'aluminium comme coagulant flocculant dans le traitement d'eau usée. Mémoire de master, Université Abdelhamid Ibn Badis, Mostaganem, 2022.
- [4] : <https://fr.wikipedia.org/wiki/Chitosane>
- [5]:<file:///C:/Users/DELL/Downloads/structure%20chitine.pdf>
- [6]: <http://alpha-chitin.fr/chitine-chitosanes/>
- [7]: <https://fr.wikipedia.org/wiki/Chitosane>
- [8] : ZEROUAL Abir, KELLALI Asmaa. Transformation de la chitine en chitosane : caractérisation et étude de la solubilité. Mémoire de master, Université Abdelhamid Ibn Badis, Mostaganem, 2019.
- [9] : <https://fr.wikipedia.org/wiki/Chitinece>
- [10] : <https://new.societechimiquedefrance.fr/wp-content/uploads/2019/12/2002-nov-dec-258-259-NT9-Desbrieres.pdf>
- [11] : <https://kytoprod.com/chitine-chitosan/>
- [12] : GUENDOUCHE Nesrine, TOUMIA Kheira. Contribution à l'extraction de la chitine et de chitosane à partir d'un produit aquacole. Mémoire de master, Université Abdelhamid Ibn Badis, Mostaganem, 2023.
- [13] : BENSALIM Nadjib, HAROUN Souhila. Extraction de chitosane à partir des carapaces de crevettes : mise en œuvre et caractérisation Infrarouge. Mémoire de master, Université de Bejaïa, 2021.
- [14] : ZOUHIRI Romaïssa, BERRAHI Ikram. Extraction du chitosane par voie hydro-chimique : étude de son pouvoir antioxydant et son effet antibactérien et anti biofilms. Mémoire de master, Université Aboubekr Belkaid, Tlemcen, 2022.
- [15] : https://www.researchgate.net/figure/Conventional-steps-for-chitin-and-chitosan-extraction-from-crustacean-shells-to-fabricate_fig3_347589324
- [16] : AMROUN Dyhia, TAHAROUNT Kahina. Production et utilisation des chitosanes dans les procédés de coagulation-floculation. Mémoire de master, Université Mouloud Mammeri, Tizi Ouzou, 2011.
- [17] : MEZRAG Maroua. Elaboration d'un composite à base de graphène et d'un biopolymère : Le Chitosane. Mémoire de master, Université 8 Mai 1945, Guelma, 2022.
- [18] : <https://www.jove.com/v/10156/operation-of-high-performance-liquid-chromatography-hplc?language=French>
- [19] : CHERGUIA Samia, MEHDI Hassiba. Elaboration du chitosane à partir de la chitine de crevette rouge *Aristeus antennatus* : Appliqué à l'adsorption du Bleu de Méthylène. Mémoire de master, Université Abdelhamid Ibn Badis, Mostaganem, 2019.

[20] : BENHELLAL Hassiba, GHAZI Fatima. Etude Théorique Des Membranes Hybrides. Mémoire de Master, Université Ibn Khaldoun, Tiaret, 2020.

[21] : TEZKRATT Amar, BIR Idris. Optimisation des paramètres de l'obtention du chitosane et ses applications dans le traitement des eaux de lavage de la station de potabilisation. Mémoire de master, Université Mouloud Mammeri, Tizi-Ouzou, 2018.

[22] : BOUALEM Zohra, HOCINE Ahlem. Valorisation biotechnologique des coproduits de crevette rouge *Aristeus antennatus* : Etude du pouvoir antioxydant et antimicrobien du chitosane. Mémoire de master, Université Abdelhamid Ibn Badis, Mostaganem, 2018.

Chapitre II : Étude bibliographique sur les nanoparticules

II.1. Introduction

Au cours des dernières années, les matériaux de taille nanométrique ont attiré les attentions grâce à leurs propriétés physiques et chimiques spécifiques différentes de celles du matériau à l'état massif correspondant. Ces nouvelles propriétés qui rendent le monde des nanoparticules un domaine de recherche en évolution continue en développant de nouvelles stratégies de synthèse de ces nanomatériaux de taille et de forme contrôlées [1,2].

Dans ce chapitre, nous présenterons une revue de la littérature sur la description de nanoparticules par leurs utilisations et leurs intérêts par des scientifiques et des industriels et leurs applications dans des différents domaines.

II.2. Nanoparticules

Une nanoparticule est un assemblage de quelques centaines à quelques milliers d'atomes, formant un objet dont au moins une dimension est comprise entre 1 et 100 nm. Ce nano-objet se situe donc au confluent des échelles macroscopiques (matériaux massifs) et moléculaires (ou atomiques). À titre de comparaison avec les structures organiques naturelles, les nanoparticules se situent principalement dans la gamme de taille correspondant aux protéines et aux virus [1-3].

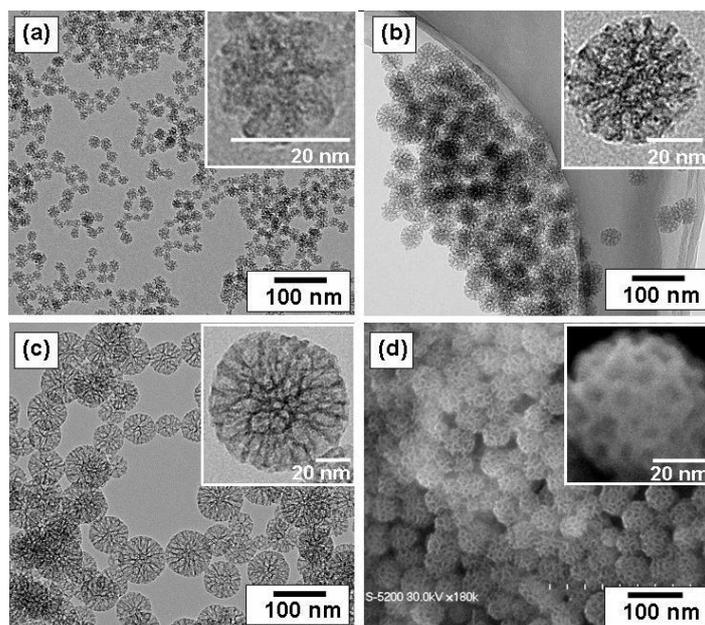


Figure II.1 : Vue en microscopie électronique en transmission (TEM) de nanoparticules, avec des diamètres de 20 nm (a), 45 nm (b), et 80 nm (c). L'image (d) présente une vue en microscopie électronique à balayage.

II.3. Classification des nanoparticules

Les nanoparticules peuvent être classées en fonction de différents paramètres :

II.3.1. Classification des nanoparticules en fonction de leurs dimensions

- **Les nanoparticules de dimension 0** : matériaux sous forme dispersée, aléatoire ou organisée comme dans les cristaux colloïdaux pour l'optique ou les fluides magnétiques.
- **Les nanoparticules de dimension 1** : matériaux sous forme des nanofils ou des nanotubes.

- **Les nanoparticules de dimension 2** : matériaux sous forme de couche mince, comme dans les dépôts d'agrégats ou de revêtements épais obtenus par projection plasma ou voie électrochimique.
- **Les nanoparticules de dimension 3** : matériaux sous forme compacte comme dans les céramiques et les métaux nanostructures [4].

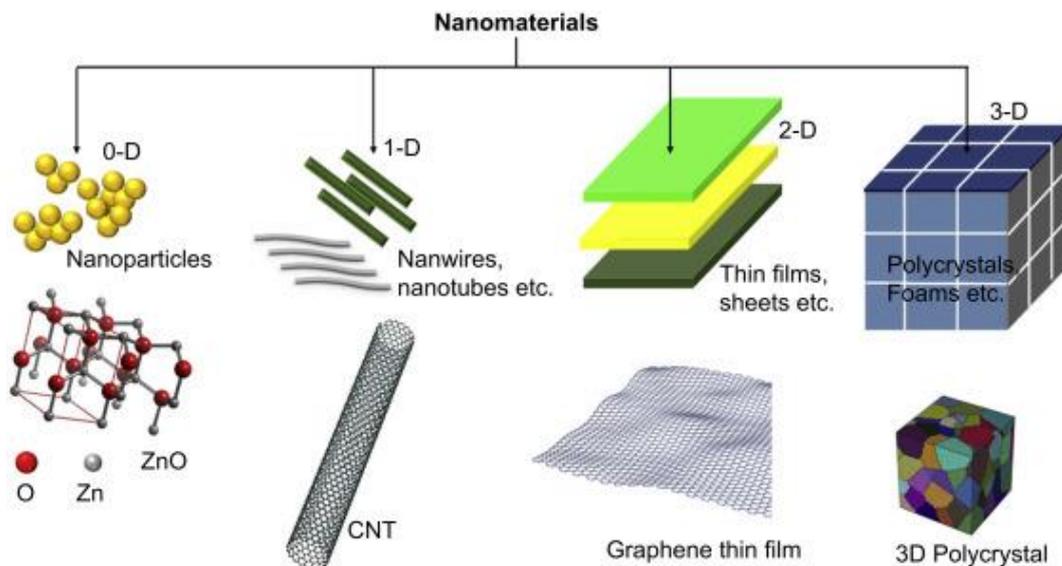


Figure II.2 : Les différentes dimensions des nanoparticules.

II.3.2. Classification des nanoparticules en fonction de leurs sources

II.3.2.1. Les nanoparticules d'origine naturelle

Les nanoparticules sont abondantes dans la nature, car elles sont produites dans de nombreux processus naturels, y compris les réactions photochimiques, les éruptions volcaniques, les incendies de forêt et la simple érosion, et par les plantes et les animaux, par exemple la perte de peau et de cheveux [5].

II.3.2.2. Les nanoparticules manufacturées

Les nanoparticules sont dites manufacturées quand ils sont produits intentionnellement et introduits dans l'environnement par l'homme. Il faut également tenir compte du fait que les nanoparticules manufacturées peuvent représenter un cas particulier, elles peuvent donc présenter des propriétés physicochimiques ou toxicologiques nouvelles ou améliorées par rapport aux nanoparticules naturelles [5].

II.3.3. Classification des nanoparticules en fonction leurs composition chimique

II.3.3.1. Les nanoparticules organiques

a) Les polymères organiques

Plusieurs de polymères organiques courants peuvent être préparés sous forme de nanofil à structure contrôlée et de dimensions nanométriques. Ces particules sont biodégradables, non toxiques, et sont sensibles aux rayonnements thermiques et électromagnétiques comme la chaleur et la lumière [2, 5].

b) Les nanoparticules d'inspiration biologique

Les nanoparticules d'inspiration biologique sont très diversifiées mais regroupent normalement des structures dans lesquelles une substance biologique est encapsulée, emprisonnée ou absorbée à la surface [3, 4].

II.3.3.2. Les nanoparticules inorganiques

a) Les métaux

Les nanoparticules qui sont synthétisées à partir de métaux à des tailles nanométriques par des méthodes destructives ou constructives sont des nanoparticules à base de métaux. Les nanoparticules métalliques (or, cuivre, silicium, fer, etc.) sont largement utilisées en catalyse, en capteurs, en remèdes environnementaux et en médecine [5].

b) Les oxydes métalliques

Les nanoparticules à base d'oxyde métallique sont synthétisées pour modifier les propriétés de leurs nanoparticules à base métallique respectives. Différents oxydes métalliques sont apparus sous formes variées : nanotubes, nano-tiges, nano-flocons, etc. [5].

c) Les points quantiques

Les points quantiques sont un domaine de recherche important depuis quinzaine d'années, ils ont été élaborés sous forme de semi-conducteurs, d'isolants, de métaux, de matériaux magnétiques ou d'oxydes métalliques. La flexibilité des points quantiques et de leurs propriétés optiques associées permettent d'envisager des applications dans des différents domaines [5].

II.3.3.3. Les nanoparticules à base de carbone

Les nanoparticules entièrement composées de carbone sont connues comme étant à base de carbone.

- a) Les fullerènes (C₆₀)** : La forme la plus étudiée, est une molécule contenant 60 atomes de carbone, de forme sphérique semblable à un ballon de football avec 12 formes de pentagone et 20 formes hexagonales [6,7].
- b) Les nanofeuillets de graphène** : Le graphène est un réseau hexagonal de treillis en nid d'abeilles constitué d'atomes de carbone dans une surface plane bidimensionnelle. En général, l'épaisseur de la feuille de graphène est d'environ 1 nm.
- c) Les nanotubes de carbone** : Les nanotubes de carbone constituent une nouvelle forme cristalline du carbone. Enroulés dans un réseau hexagonal des atomes de carbone constituant une nanfeuille de graphène, ces cylindres creux peuvent avoir des diamètres aussi petits que 0,7 nm et atteindre plusieurs millimètres de longueur.
- d) Les nanofibres de carbone** : Les mêmes nanofeuillets de graphène sont utilisés pour produire des nanofibres de carbone comme les nanotubes de carbone, mais enroulées en forme de cône ou de tasse au lieu de tubes cylindriques réguliers.
- e) Le noir de carbone** : Le noir de carbone est constitué de matériel graphitique partiellement amorphe dont une fraction substantielle des particules élémentaires est de dimension nanométrique, généralement de 20 à 70 nm [6,7].

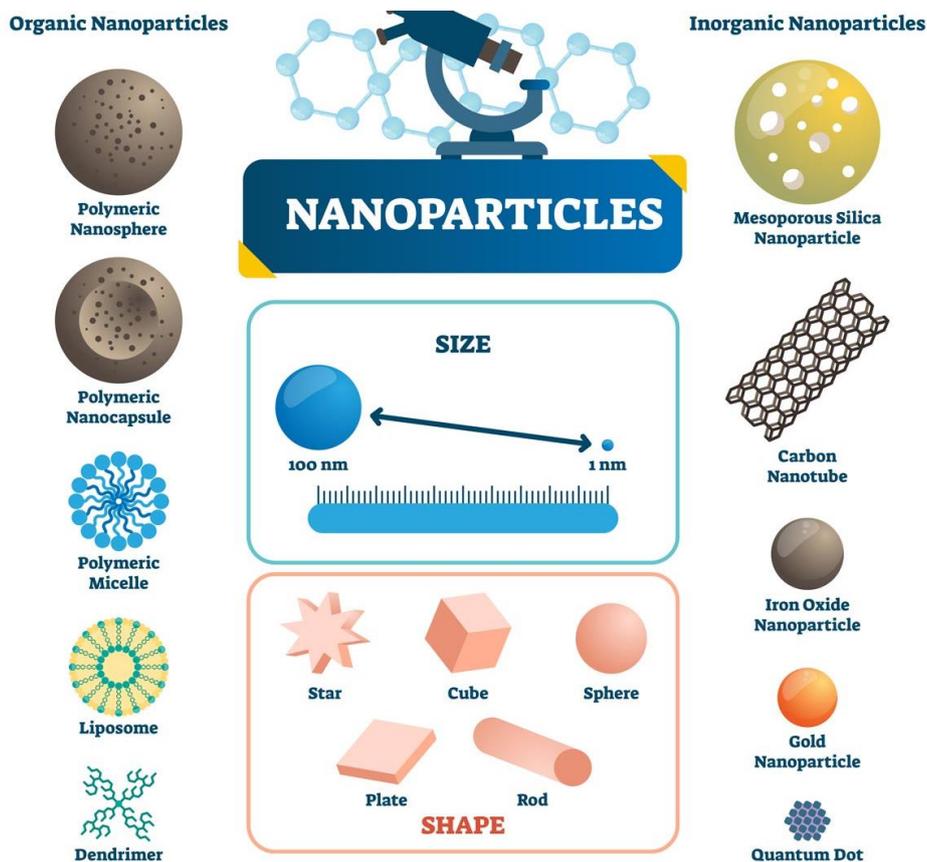


Figure II.3 : Exemples de nanoparticules organiques et inorganiques, avec leur taille, leur forme et les matériaux qui les composent.

II.4. Les propriétés des nanoparticules

II.4.1. Les propriétés de surface

Les nanoparticules ont une forme sphérique, le rapport de leur surface /volume augmente et aussi la proportion des atomes de surface sur l'ensemble des atomes qui constituent une nanoparticule lorsque la taille des particules diminue (tableau II.1). Puisque la portion réactive d'une particule est située à sa surface, les effets de sa surface ne sont donc plus négligeables vis-à-vis de ceux du volume. En dimension macroscopique, les atomes de surface des particules sont négligeables par rapport à l'ensemble des atomes qui constituent les particules [8,9].

Tableau II.1 : La relation entre la taille des particules et le nombre d'atomes en surface [9].

Taille des particules (nm)	Nombre d'atomes par particule	Le pourcentage du nombre d'atomes en surface des particules (%)
10	$3 \cdot 10^4$	20
5	$4,2 \cdot 10^3$	50
4	$4 \cdot 10^3$	60
2	$2,5 \cdot 10^2$	80
1	30	99

II.4.2. Les propriétés optiques

Les nanomatériaux semi-conducteurs et métalliques et les nanocomposites possèdent des propriétés intéressantes d'absorption linéaire, d'émission de photoluminescence et une émission optique améliorée en raison de leurs petites tailles. De plus, du fait de leurs compositions intrinsèques, certaines nanoparticules sont absorbantes aux ultraviolets comme les nanoparticules de TiO_2 présentes dans les crèmes solaires par exemple ou encore fluorescentes [8,9].

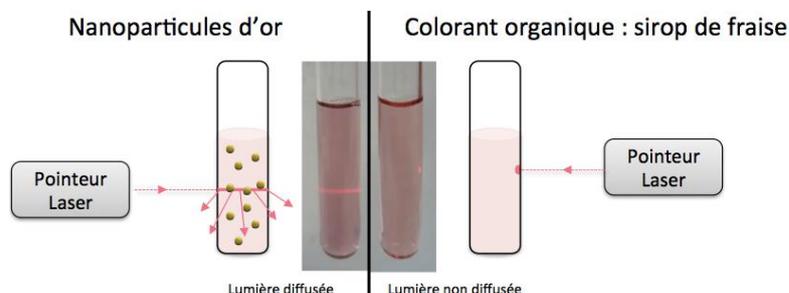


Figure II.4 : Mise en évidence de particules solides en solution grâce à la diffusion.

II.4.3. Les propriétés mécaniques

En dimension nanométrique, une hausse de la limite d'élasticité est observée et les nanoparticules ont donc une bonne ductilité. Les nanoparticules ont aussi une dureté extrêmement grande [10].

II.4.4. Les propriétés électroniques

Lorsqu'un électron traverse une nanoparticule, celle-ci se charge électriquement, donc elle se comporte comme un condensateur électrique, et sa capacité électrique doit être prise en compte. La conductivité électrique des matériaux est significativement modifiée et augmentée après l'ajout des nanoparticules ou des nanotubes [8,9].

II.4.5. Les propriétés de transfert thermique

Les nanoparticules ont une faible impulsion de particules et une très grande mobilité. La petite taille des molécules permet une libre circulation et donc une microconvection, ce qui favorise le transfert de chaleur. Le fluide peut présenter une dispersion de chaleur beaucoup plus rapide en raison de ces deux facteurs [10].

II.4.6. Les propriétés magnétiques

Les nanoparticules magnétiques sont généralement composées d'un cœur en métal (fer, nickel, cobalt) enrobé d'autres molécules et ont une structure magnétique ordonnée, soit ferromagnétique (FM), soit ferrimagnétique (FI). Elles possèdent des propriétés physiques et chimiques très intéressantes, elles sont faciles à enrichir et à séparer, ou à effectuer un positionnement de mouvement directionnel [8,9].

II.4.7. Les propriétés catalytiques

Certaines nanoparticules de métaux de transition tardifs sont utilisées comme catalyseurs et électrocatalyseurs pour les réactions chimiques industrielles qui produisent des carburants, convertissent l'énergie chimique en électricité et nettoient la pollution associée à la production et à l'utilisation de ces carburants [8,9].

II.4.8. Les propriétés biologiques

La taille des nanoparticules leur permet de pénétrer dans les endroits les plus confinés, et particulièrement d'interagir en conséquence avec les systèmes biologiques. Elles possèdent plusieurs propriétés biologiques, dont les plus importantes sont les suivantes :

- Pénétration et franchissement des barrières biologiques : en raison de leur très petite taille, les nanoparticules peuvent pénétrer par la peau, la cornée ou la muqueuse des voies respiratoires ou gastro-intestinales.
- Liaison avec les biomolécules : en entrant dans le système biologique, les nanoparticules s'entourent de fluides biologiques riches en biomolécules comme le sang.
- Endocytose En pénétrant les barrières biologiques des différents organes, les nanoparticules traversent les membranes cellulaires puis interagissent avec les molécules de signalisation intracellulaires.
- Dégradation et élimination Les excréctions rénales et hépatobiliaires sont les principales voies d'élimination des nanoparticules [8,9].

II.5. Les paramètres caractéristiques physiques des nanoparticules

II.5.1. La taille

On appelle nanoparticules, ou particules ultrafines, les particules de dimension inférieure à 100 nm, en notant que cette valeur est arbitraire, choisie par l'observation, mais non représentative d'une quelconque barrière physique. Leur dimension totale peut être supérieure à cette valeur de 100 nm, mais ce sont « leurs éléments constitutifs » qui sont de taille inférieure ou égale à 100 nm [11].

II.5.2. Le diamètre équivalent

Les nanoparticules sont rarement sphériques, mais plutôt de formes irrégulières. Il est donc nécessaire pour caractériser la taille de ces particules, de définir des diamètres qui seront associés à d'autres propriétés. Ces diamètres sont les suivants : diamètres équivalents en masse, en volume, optique, diamètre aérodynamique, de Stokes, thermodynamique, de mobilité électrique [11].

II.5.3. La forme des particules

Les diamètres équivalents ne suffisent pas toujours à caractériser complètement les nanoparticules. On définit également la forme des particules à l'aide de plusieurs facteurs. Facteur de forme dynamique, morphologie fractale des particules, diamètre des particules primaires nombre de particules primaires, rayon de giration de l'agrégat..., ces différents paramètres permettent de caractériser plus précisément les particules, mais surtout les agrégats de particules, pouvant prendre des formes complexes [11].

II.6. Les procédés d'élaboration des nanoparticules

II.6.1. La méthode descendante (Top-down)

Dans cette méthode, une approche destructive est utilisée. À partir d'une molécule plus grosse, qui s'est décomposée en unités plus petites, puis ces unités sont converties en nanoparticules appropriées. Cette approche n'a pas un bon contrôle de la taille et de la structure des particules [10,12].

II.6.2. La méthode ascendante (Bottom-up)

Cette approche est la plus utilisée par les scientifiques dans la synthèse de nanoparticules car elle consiste à construire un matériau à partir du bas : atome par atome et molécule par molécule avec des propriétés contrôlées.

La différence entre les deux techniques est que l'approche descendante se limite à des procédés mécaniques et permet d'obtenir une quantité importante de matière avec un contrôle amoindri. Alors que l'approche ascendante permet de préparer une large gamme de matériaux avec une taille et une morphologie bien contrôlée, mais en parallèle nécessite l'utilisation de procédés physiques et chimiques [10,12].

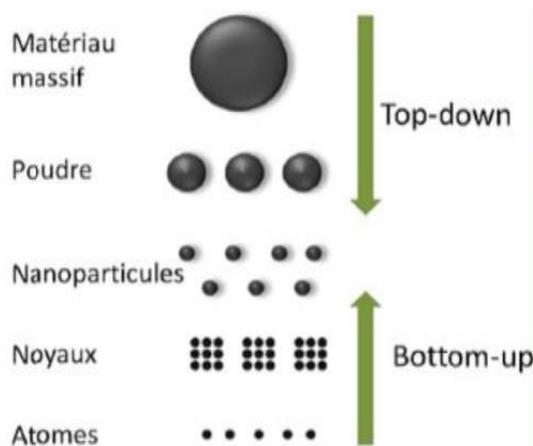


Figure II.5: Deux approches de fabrication des nanomatériaux.

II.6.3. La synthèse verte

Récemment, de grands efforts ont été entrepris pour développer des méthodes biologiques économiques, rapides, efficaces, inoffensives et respectueuses de l'environnement en utilisant des extraits de plantes, des microorganismes (bactéries, champignons, et algues), des enzymes et des biomolécules. La synthèse verte est une méthode de bioréduction écologique dans laquelle les molécules des plantes et des micro-organismes, telles que les protéines, les enzymes, les composés phénoliques, les amines et les alcaloïdes agissent en tant qu'agents réducteurs et stabilisants pour la bioréduction des ions métalliques en nanoparticules [10,12].

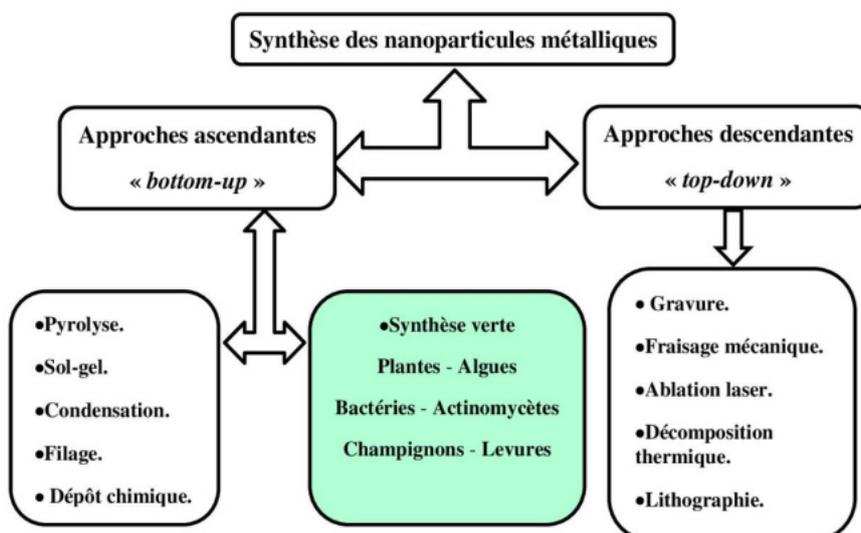


Figure II.6 : Schéma illustrant les différentes approches de fabrication des nanoparticules.

II.7. Les domaines d'applications des nanoparticules

En raison de leur taille nanométrique, les nanoparticules ont des propriétés chimiques, biologiques et physiques uniques. Ses propriétés leur permettent d'être utilisées pour diverses applications dans plusieurs domaines.

II.7.1. Aéronautique et automobile

Les nanoparticules peuvent considérablement améliorer la sécurité, la vitesse et la durabilité des véhicules de transport. Ils sont utilisés pour préparer des pneumatiques robustes et recyclables, des additifs pour diesel assurant une meilleure combustion, des peintures extérieures plus brillantes, anticorrosion, anti-rayures [13].

II.7.2. Électronique et communication

Les nanoparticules peuvent offrir de nouveaux progrès en développant des processeurs miniaturisés, des ordinateurs et des jeux électroniques plus rapides, des écrans plats sur les appareils électroniques et surtout de nouvelles manières de transférer les informations [13].

II.7.3. Agroalimentaire

Les recherches sont axées sur la durabilité et la protection des aliments produits dans l'agriculture, y compris les cultures destinées à la consommation humaine et à l'alimentation animale. Les utilisations des nanoparticules comprennent le développement de variétés résistantes aux insectes, la transformation et le stockage des aliments, les additifs nanométriques et l'augmentation de la durée de conservation des produits (emballages actifs) [12].

II.7.4. Chimie et matériaux

Les nanomatériaux ont des propriétés d'inhibition de la corrosion plus élevées. Ils sont aussi utilisés pour fabriquer des poudres céramiques, des pigments, des catalyseurs multifonctionnels, des textiles et des revêtements antibactériens et ultrarésistants. [12,14].

II.7.5. Construction

Les matériaux de construction de base ont bénéficié de la nanotechnologie qui permet de produire des peintures, des ciments autonettoyants et anti-pollution, des vernis, des mastics, des colles, des vitrages autonettoyants et anti-salissures. L'ajout des nanoparticules a conduit à un béton plus solide, plus durable, auto-cicatrisant, purifiant l'air, résistant au feu et facile à nettoyer [13,15].

II.7.6. Pharmacie et santé

Actuellement, les nanoparticules sont utilisées dans l'imagerie médicale, et dans les divers systèmes d'administration de médicaments, de protéines, de vaccins, etc. Aussi, pour fabriquer des surfaces biocompatibles pour des implants médicamenteux délivrés uniquement à des organes précis et aussi des adhésifs médicaux anti-allergènes [10-15].

II.7.7. Cosmétique

La nanocosmétique vise à synthétiser des produits destinés à une application sur la peau du visage et du corps avec une action photoprotectrice et anti-vieillessement. Dans l'industrie cosmétique, les

nanoparticules sont présentes dans les shampooings, les crèmes antirides, les déodorants, les savons, les crèmes solaires transparentes, etc. [13,15].

II.7.8. Énergie

Les batteries et les condensateurs sont les applications les plus importantes dans le domaine du stockage d'énergie. Les divers domaines d'application en conversion et en stockage d'énergie nouvellement créés sont la photovoltaïque, la thermophotovoltaïque, l'éclairage à semi-conducteurs, les batteries, la thermoélectricité, la photocatalyse, l'isolation thermique, etc. [16].

II.7.9. Environnement et écologie

Les utilisations potentielles de la nanotechnologie dans le secteur de l'environnement comprennent la diminution des émissions de dioxyde de carbone, le traitement des eaux usées et des sols contaminés, l'assainissement, la production d'eau ultrapure à partir d'eau de mer, et les pesticides et fertilisants plus efficaces et moins dommageables [13-16].

II.8. Conclusion

Dans ce le chapitre, on peut dire que les nanoparticules sont des particules infiniment petites 1 - 100 nm qui sont classées selon leurs dimensions (0D, 1D, 2D 3D) et aussi on peut classer selon leur localisation au sein du composant et leurs origines (naturelle ou humaine). Les nanoparticules sont utilisées dans différents secteurs industriels (construction, cosmétique, énergie, santé, plasturgie et textile...etc.), Ces nanoparticules sont des semi-conducteurs. Ces propriétés permettent d'utiliser ces particules dans plusieurs secteurs industriels.

Références bibliographiques

[1] : <https://lejournal.cnrs.fr/articles/ce-que-les-nanoparticules-font-a-nos-cellules>

[2] : DJEGHBOUB Wided. Nanoparticules d'or et d'argent déposées sur oxyde de cérium synthétisées sous irradiation. Mémoire de Magister, Université Mentouri Constantine, 2010.

[3] : <https://www.novethic.fr/lexique/detail/nanoparticules.html>

[4]: RABEHI Moussa, GOHMES Amar, FERHI Charaf Eddine. Synthèse bibliographique sur l'application de la nanotechnologie pour l'élimination de quelques polluants. Mémoire de Master, Université Kasdi Merbah, Ouargla, 2022.

[5] : ZOUAOUI Malika. Utilisation des nanoparticules dans les procédés d'oxydation avancée. Thèse de Doctorat, Ecole Nationale Polytechnique, 2017.

[6] : HADJ Ali, AYA Leila. Etude comparative des propriétés physiques des nanomatériaux (effet de la dimensionnalité) : Calcul ab initio. Mémoire de Master, Université de Bordj Bou Arreridj, 2022.

[7] : <https://www.futura-sciences.com/tech/definitions/technologie-nanoparticule-6478/>

[8] : OBEIZI Zahra. Évaluation microbiologique et toxicologique des nanoparticules d'oxyde de zinc élaborées par synthèse verte. Thèse de Doctorat, Université Badji Mokhtar, Annaba, 2022.

[9] : MESSADIA Ryma. Elaboration et caractérisation des nanoparticules de ZnO par co-précipitation. Application à la photo dégradation de méthyle orange. Mémoire de Master, Université Badji Mokhtar, Annaba, 2018.

[10] : <https://culturesciences.chimie.ens.fr/thematiques/chimie-inorganique/proprietes-des-nanoparticules-d-or>

[11] : BERRA Djamilia. Synthèse verte et caractérisation de nanoparticules métalliques par l'extrait des feuilles de Phoenix Dactylifera L et leur activités biologiques. Thèse de Doctorat, Université de El oued. 2020.

[12] : KHEMISSAT Ghizlane, ALLOUNE Maria. Synthèse verte et caractérisation des nanoparticules à l'aide de d'extrait de menthe. Mémoire de Master, Université Kasdi Merbah, Ouargla, 2018.

[13] : BERREGUI Bahria, BABANINI Fatiha. Synthèse et caractérisation d'un nanocomposite de structure organique/métallique pour la détection du pentachlorophénol dans l'eau. Mémoire de Master, Université Kasdi Merbah, Ouargla, 2021.

[14] : <https://www.asef-asso.fr/production/les-nanoparticules-la-synthese-de-lasef/>

[15] : GOUTAYER Mathieu. Nano-émulsions pour la vectorisation d'agents thérapeutiques ou diagnostiques : étude de la biodistribution par imagerie de fluorescence in vivo. Thèse de doctorat, Université Pierre et Marie Curie-Paris VI, 2008.

[16] : OSSENI Sèmiyou. Nanoplateformes hybrides multimodales pour l'imagerie médicale. Thèse de Doctorat, Université Paul Sabatier, Toulouse 3, 2012.

Partie Expérimentale

Chapitre III : Matériels, méthodes et techniques de caractérisation

III.1. Introduction

La synthèse verte des nanoparticules métalliques a connu un essor considérable ces dernières années en raison de ses avantages environnementaux et économiques par rapport aux méthodes de synthèse conventionnelles. Dans ce chapitre, nous décrivons des méthodes simples et respectueuses de l'environnement pour la préparation de bionanocomposites en utilisant le chitosane comme agent réducteur et stabilisant. L'efficacité des bionanocomposites préparés pour l'adsorption de polluants organiques tels que le bleu de méthylène a été évaluée par spectroscopie UV-visible.

III.2. Matériels et Méthodes expérimentales

Dans ce travail, nous allons d'abord procéder à l'extraction de la chitine à partir des champignons. Par la suite, nous désacétylerons la chitine par un traitement alcalin pour obtenir du chitosane de type hautement désacétylé. Ensuite, nous réaliserons la synthèse verte des nanocomposites par le chitosane.

III.2.1. Matériels

Les champignons utilisés dans ce travail ont été obtenus à partir des supermarchés alimentaires de la ville de Guelma, Algérie ; ils ont été utilisés pour la préparation du chitosane en poudre. L'ensemble des produits chimiques, solvants et réactifs utilisés dans la préparation de la chitine et du chitosane sont de haute pureté et stockés à l'abri de la lumière directe.



Figure III.1 : Les champignons utilisés au cours de travail.

III.2.2. Extraction de la chitine et du chitosane

III.2.2.1 Le prétraitement

Le prétraitement débute par le lavage des champignons à l'eau courante. Le lavage est répété trois fois. Après lavage, les champignons sont séchés à l'air libre. Une fois le séchage terminé, ils sont broyés à l'aide d'un broyeur électrique.

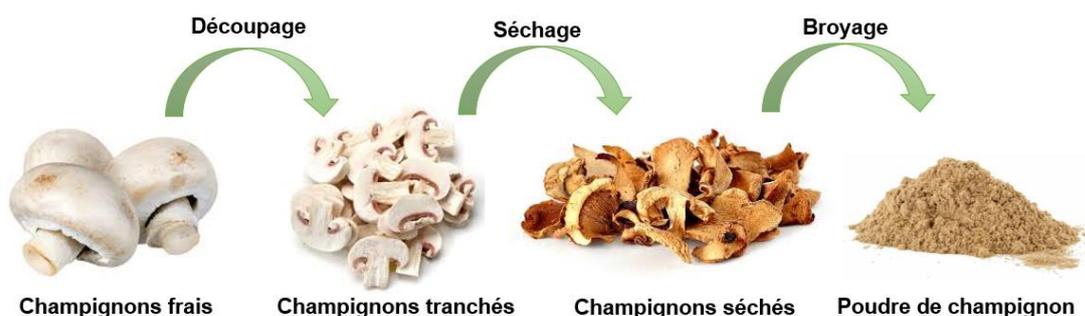


Figure III.2 : Les étapes de préparation de la matière première.

III.2.2.2. La déminéralisation

30 g de champignons prétraités ont été mélangés à de l'acide chlorhydrique (HCl) à 4% (300 ml) dans un rapport solide/liquide de 1g/10 ml (w/v). Le mélange a été maintenu à une température constante de 40°C pendant 2h. Après le traitement, les champignons ont été lavés à l'eau distillée (jusqu'à pH neutre) et séchés à 80°C [1-5].

III.2.2.3. La déprotéinisation

La poudre obtenue déminéralisée et séchée est ensuite mise en contact avec une solution d'hydroxyde de sodium (NaOH) à 10% pendant 2h à 80°C, en maintenant un rapport solide/solvant de 1g/10 ml (w/v). Après le traitement, le produit résulte est filtré sous vide et lavée abondamment à l'eau distillée jusqu'à ce que le pH de la solution atteigne 7 (neutre). Le produit obtenu est de la chitine [1-5].

III.2.2.4. La décoloration

La chitine est ensuite blanchie à l'aide d'une solution de peroxyde d'hydrogène (H₂O₂) à 10% sous agitation pendant 30 min à 50°C. Cette étape de blanchiment est répétée trois fois. À la fin du processus, la chitine blanchie est lavée abondamment à l'eau distillée jusqu'à ce que le pH atteigne 7 (neutre). Il est ensuite séché [1-5].

III.2.2.5. La désacétylation

La désacétylation est effectuée à une température de 80°C, en maintenant un rapport solvant/solide de 1g/10 ml et en utilisant une solution d'hydroxyde de sodium (NaOH) à 50% pendant 4h. Après la désacétylation, le chitosane obtenu est lavé abondamment à l'eau distillée, puis filtré et séché à l'air libre ou dans un four à 50°C [1-5].

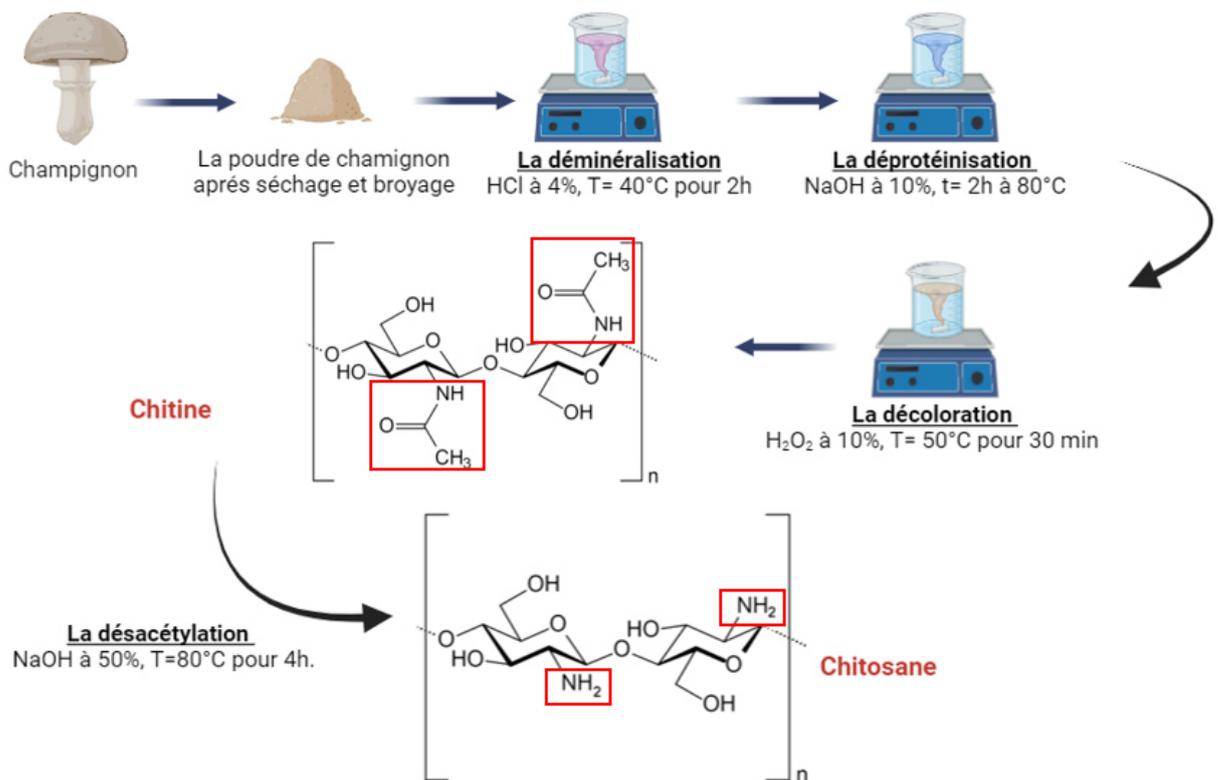


Figure III.3 : Les étapes d'extraction du chitosane à partir des champignons.

III.3. Synthèse verte des nanocomposites

III.3.1. Préparation de la solution de chitosane

Pour préparer la solution de chitosane, on met 100 ml d'eau distillée et 1 g de chitosane en poudre a été combiné avec 2 ml d'acide acétique glacial en agitant vigoureusement [6,7].

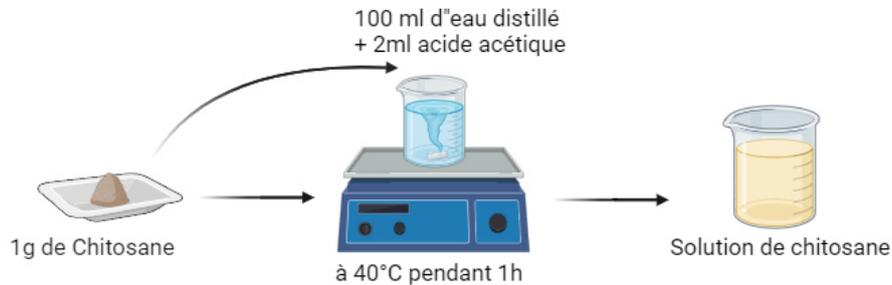


Figure III.4 : Les étapes de préparation de la solution de chitosane.

III.3.2. Biosynthèse des nanocomposites ZnO/MgO

Pour la synthèse verte de nanocomposites (NC) par chitosane, des volumes égaux de solutions de chlorure de magnésium ($MgCl_2$) 0.1 mol/L et de chlorure de zinc ($ZnCl_2$) 0.1 mol/L ont été mélangés dans un ballon de 250 ml sous agitation constante. Ensuite, la solution obtenue a été chauffée à 80 °C, puis 40 ml de solution de chitosane ont été ajoutés. Une solution de NaOH 2 mol/L a été ajoutée dans le ballon pour maintenir le pH à 9, et la solution a été agitée pendant 2 heures.

En conséquence, la couleur de la solution change, indiquant la formation de nanocomposites ZnO/MgO. La suspension a été refroidie à la température ambiante, centrifugée à 8 000 rpm pendant 5 minutes et le précipité a été recueilli sur une assiette en porcelaine. Le précipité a été lavé cinq fois avec de l'eau distillée pour éliminer le NaOH non consommé et les résidus de l'extrait de feuille, puis séché à l'air libre et enfin calciné à 700 °C dans un four à moufle [6-8]. Cette méthode simple et écologique permet d'obtenir des nanocomposites de taille et de morphologie contrôlée.

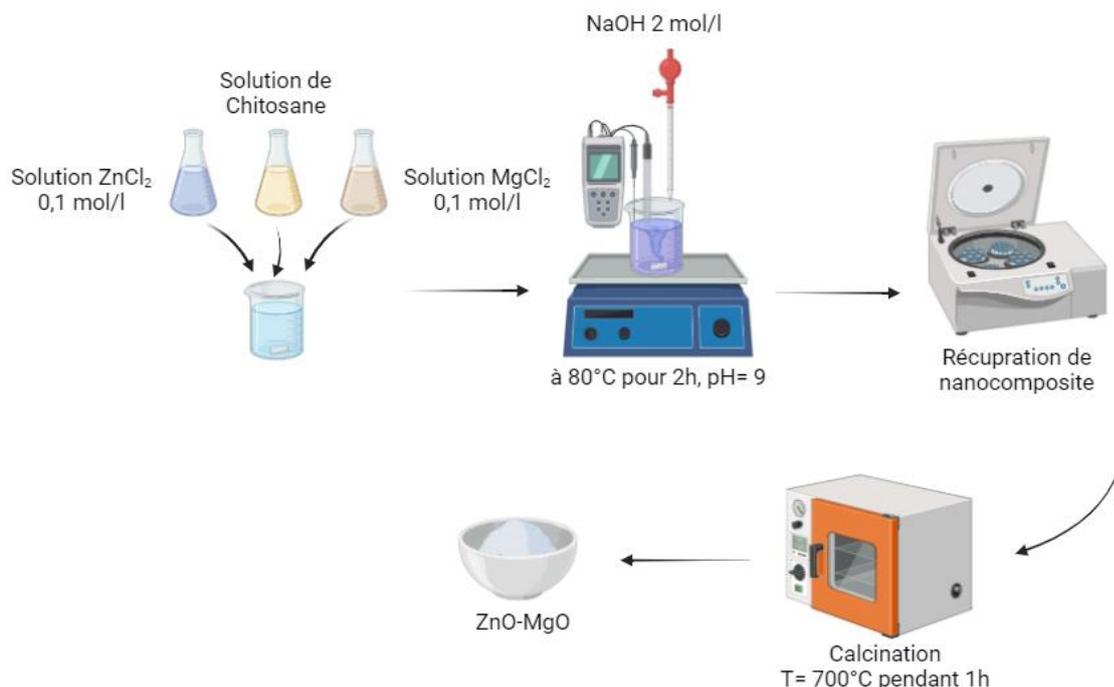


Figure III.5: Les étapes de préparation de nanocomposite à l'aide de chitosane.

III.4. Étude de l'adsorption de bleu de méthylène par le bionanocomposites préparé

Pour évaluer la capacité d'absorption du chitosane et du ZnO/MgO, le bleu de méthylène a été utilisé comme échantillon de contaminant. Tout d'abord, une solution de colorant de bleu de méthylène a été préparée à une concentration de $4 \cdot 10^{-5}$ mol/L.

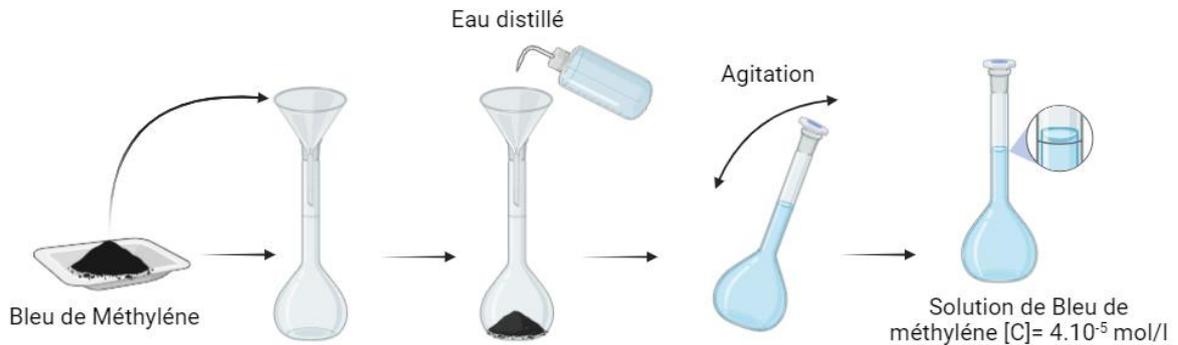
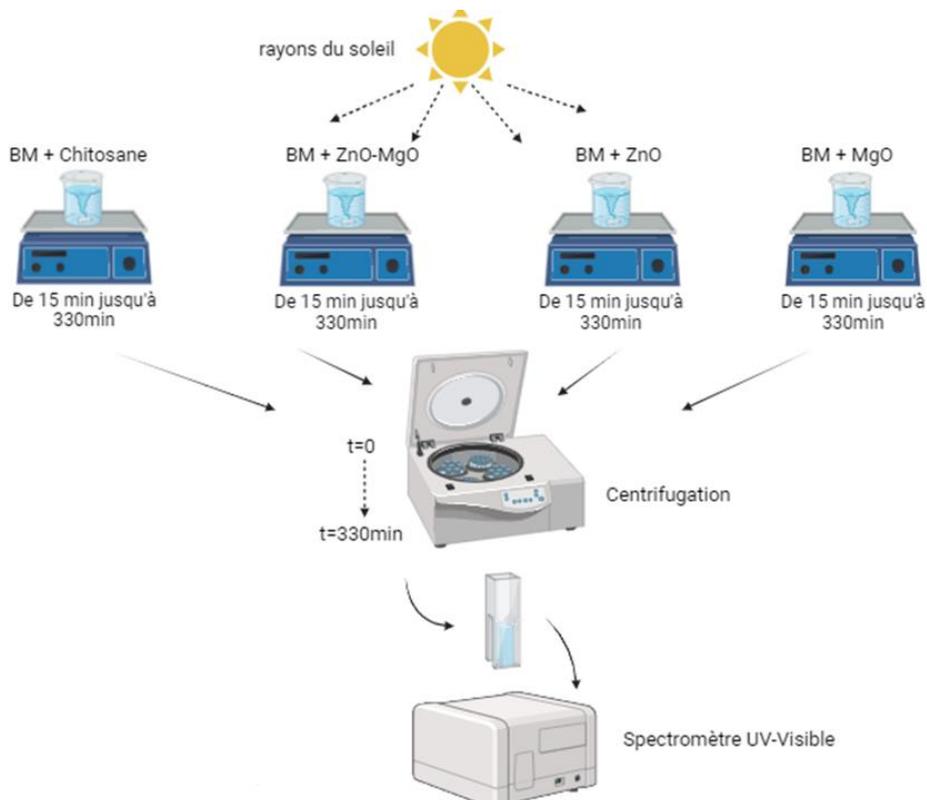


Figure III.6 : Protocole de préparation de la solution mère de Bleu de Méthylène.

Ensuite, la solution de colorant (50ml) a été mélangé avec 500 mg de chitosane aussi avec ZnO/MgO sous agitation constante et exposée aux rayons directs du soleil pendant 2 heures et plus pour atteindre la capacité d'absorption maximale du colorant.

Au cours de l'expérience, un spectromètre UV-Vis a été utilisé pour surveiller le développement de la réaction à des moments précis entre 15 et 330 minutes. Après chaque intervalle de 15 minutes, une centrifugation a été effectuée pour précipiter le bioadsorbant et arrêter le processus d'absorption, suivie d'une analyse par UV-Vis [7,8].



Figures III.7 : Les étapes d'étude d'adsorption sur les bionanocomposites préparées.

L'efficacité d'élimination du colorant est obtenue (%) à l'aide de l'équation suivante :

$$R(\%) = \frac{C_0 - C_t}{C_0} \times 100$$

C_0 : Concentration initiale $t=0$

C_t : Concentration à l'instant t

III.5. Techniques de caractérisation physico-chimiques

Cette partie met l'accent sur les différentes méthodes d'analyse physico-chimique employées dans cette étude. Une description détaillée de ces techniques est fournie afin de clarifier la méthodologie et de faciliter l'interprétation des résultats ultérieurs.

III.5.1. Analyse par spectroscopie Infrarouge à transformée de Fourier (FTIR)

La spectroscopie infrarouge à transformée de Fourier (FTIR) est une technique largement utilisée pour analyser la composition chimique des échantillons en mesurant l'absorption du rayonnement infrarouge. Elle couvre une plage de longueurs d'onde de 4000 à 400 cm^{-1} , permettant d'identifier les groupes caractéristiques dans les molécules [9].

Les analyses FTIR dans ce travail sont réalisées sur un appareil FTIR 8400 S SHIMADZU. Les spectres infrarouges des différents échantillons sont enregistrés à la température ambiante sur des pastilles de KBr. La méthode utilisée pour la préparation des pastilles consiste à mélanger 2 mg de l'échantillon avec un excès de bromure de potassium (KBr). Le mélange (100 mg KBr / 2 mg Échantillon) est ensuite comprimé sous forte pression afin de former une pastille translucide.

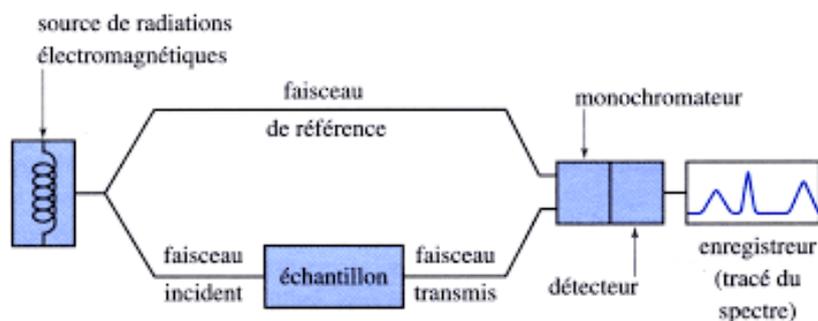


Figure III.8: Représentation schématique du principe de la spectroscopie Infrarouge à Transformée de Fourier.

III.5.2. Détermination du degré de désacétylation (DD%)

Le degré de désacétylation a une influence sur toutes les propriétés physico-chimiques (viscosité, solubilité, etc....) du chitosane et peut être décisif quant aux applications dans lesquelles il est utilisé. Plusieurs techniques permettent de caractériser le DD% du chitosane, cependant les spectroscopies RMN et IR semblent les plus appropriées pour des caractérisations rapides et peu coûteuses [10].

La détermination du degré de désacétylation (DD%) s'effectue par l'analyse du spectre (FTIR) en utilisant la formule :

$$DD\% = 100 - [(A_{1655\text{cm}^{-1}} / A_{3450\text{cm}^{-1}}) * 100 / 1.33]$$

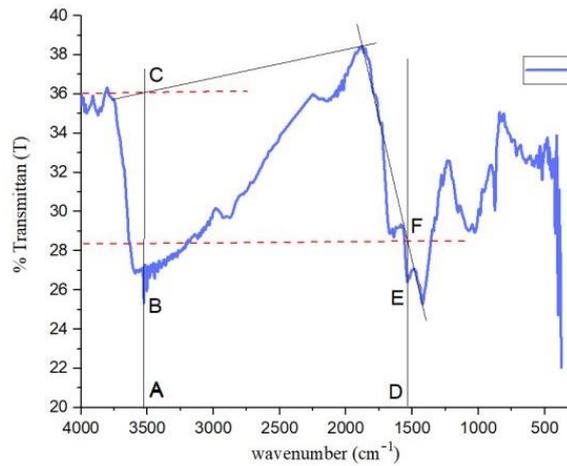


Figure III.9 : Spectre IR de chitosane sur la désacétylation avec les lignes de base pour la détermination de l'absorbance [10]

Avec :

- $A_{1655\text{ cm}^{-1}}$: Absorbance à 1660 cm^{-1} de la bande d'amide primaire (Amide I).
- $A_{3450\text{ cm}^{-1}}$: Absorbance à 3450 cm^{-1} de la bande hydroxyle.
- $A_{1655\text{ cm}^{-1}} = \log(DF/DE)$ et $A_{3450\text{ cm}^{-1}} = \log(AC/AB)$

Le facteur 1.33 représente $(A_{1655\text{cm}^{-1}}/A_{3450\text{cm}^{-1}})$ pour un chitosane entièrement le rapport.

III.5.3. Spectromètre d'absorption UV-visible

La spectroscopie ultraviolet-visible ou spectrométrie ultraviolet-visible est une technique de spectroscopie mettant en jeu les photons dont les longueurs d'onde sont dans le domaine de l'ultraviolet (100 nm à 400 nm), du visible (400 nm à 750 nm) ou du proche infrarouge (750 nm à 1400 nm). Soumis à un rayonnement dans cette gamme de longueurs d'onde, les molécules, les ions ou les complexes sont susceptibles de subir une ou plusieurs transitions électroniques. Cette spectroscopie fait partie des méthodes de spectroscopie électronique. Les substrats analysés sont le plus souvent en solution, mais peuvent également être en phase gazeuse et plus rarement à l'état solide [11]. La marque du spectrophotomètre UV-visible utilisé dans cette étude est HACH-LANGE DR 6000.

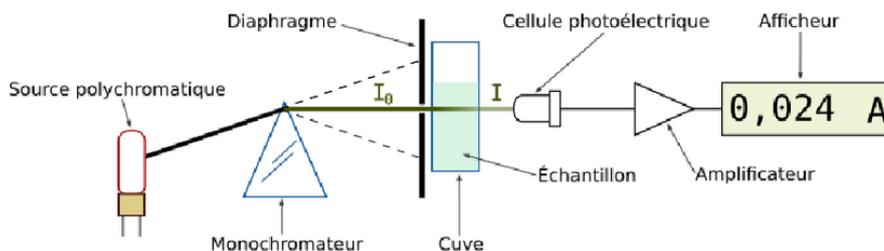


Figure III.10 : Représentation schématique du Principe de la spectrophotomètre UV-Visible.

III.6. Conclusion

Le chitosane suscite un vif intérêt dans de nombreux domaines. Cet intérêt croissant s'explique par son adaptabilité en tant que biomatériau et ses propriétés biologiques intrinsèques. Ce chapitre présente les techniques d'extraction du chitosane, la préparation d'un nanocomposite ZnO-MgO à partir

de chitosane fongique comme agent réducteur, ainsi que les méthodes de caractérisation et d'étude de l'adsorption du bleu de méthylène sur ce nanocomposite.

Références bibliographiques

[1] : ZEROUAL Abri, KELLALI Asmaa. Transformation de la chitine en chitosane : caractérisation et étude de la solubilité. Mémoire de Master, Université Abdelhamid Ibn Badis, Mostaganem, 2019.

[2] : GUENDOUZE Nesrine, TOUMIA Kheira. Contribution à l'extraction de la chitine et de chitosane à partir d'un produit aquacole. Mémoire de Master, Université Abdelhamid Ibn Badis, Mostaganem, 2023.

[3] : HASSAINIA Abdelghani. Obtention du biopolymère « chitine » a partir du champignon « agaricus bisporus » : extraction et caractérisation. Thèse de doctorat, Université 8 Mai 1945, Guelma, 2018.

[4] : HAMED Chahrazad, GUEZOULI Soumia. Optimisation de l'extraction du chitosane par voie hydro chimique à partir des déchets des coproduits chitineux. Mémoire de master, Université Aboubakr Belkaïd, Tlemcen, 2020.

[5] : BELHADDAD Massylia, BENHAMOUCHE khelidja. Préparation du chitosane à partir des carapaces de crevettes : étude et caractérisations. Mémoire de master, Université de Bejaia, 2021.

[6] : KHEMISSAT Ghizlane, ALLOUNE Maria. Synthèse verte et caractérisation des nanoparticules à l'aide de d'extrait de menthe. Mémoire de master, Université Kasdi Merbah, Ouargla, 2021.

[7] : BEN AMOR Ilham. Synthèse et caractérisation de nanoparticules métalliques par le chitosane. Thèse de doctorat, Université el oued, 2024.

[8] : BIN HAWA Arwa. Synthèse de nanocomposite (Chitosane/ Fe_4O_3) pour l'élimination du Bengale rose des solutions aqueuses sous lumière du soleil. Mémoire de master, Université el oued, 2023.

[9] : MEZRAG Maroua. Elaboration d'un composite à base de graphène et d'un biopolymère : Le Chitosane. Mémoire de master, Université 8 Mai 1945, Guelma, 2022.

[10]: TOUATI Hamed, DJARI Hichem, RAMDANI Yacine. Extraction et optimisation de degré d'acétylation du chitosane. Mémoire de master, Université El Oued, 2019.

[11] : AGGOUN Nabil. Synthèse et Caractérisation des complexes de coordination à base des oximes. Mémoire de master, Université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou, 2018.

Chapitre IV : Résultats et discussions

IV.1. Introduction

Dans ce chapitre, tous les résultats expérimentaux obtenus concernant l'extraction, la caractérisation du chitosane et l'élaboration des bionanocomposites par la méthode verte sont présentés et discutés. Comme mentionné précédemment, le programme expérimental réalisé consiste à étudier l'adsorption du bleu de méthylène sur les bionanocomposites préparés, qui servent respectivement de modèle de polluant organique et de matériau adsorbant.

IV.2. Résultats de l'extraction

Dans cette section, nous allons présenter les résultats de l'extraction de la chitine et du chitosane à partir du champignon sélectionné.

IV.2.1. Teneur en matière sèche de champignons

La teneur en matière sèche est le rapport de la masse après séchage (75,60g) et celle engagée avant séchage (800 g) sa valeur calculée est de 9,45%. Elle est très proche du pourcentage donné dans la littérature concernant les champignons en général. En effet, la teneur en matière sèche des espèces fongiques en général ne dépasse pas 10% [1].

IV.2.2. Extraction de la chitine et du chitosane

La chitine et le chitosane ont été extraits à partir de 75,60g du champignon séché. Ces produits ont été obtenus au moyen d'un traitement basique et acide. La figure suivante présente les étapes d'extraction de la chitine et chitosane réalisées au cours de ce travail. Le rendement massique de chitosane après les processus d'extraction était de 2,80 g (3,70 %). Cette différence de rendement par rapport à la masse de la matière première est due au processus d'élimination des protéines et au degré de désacétylation [2].

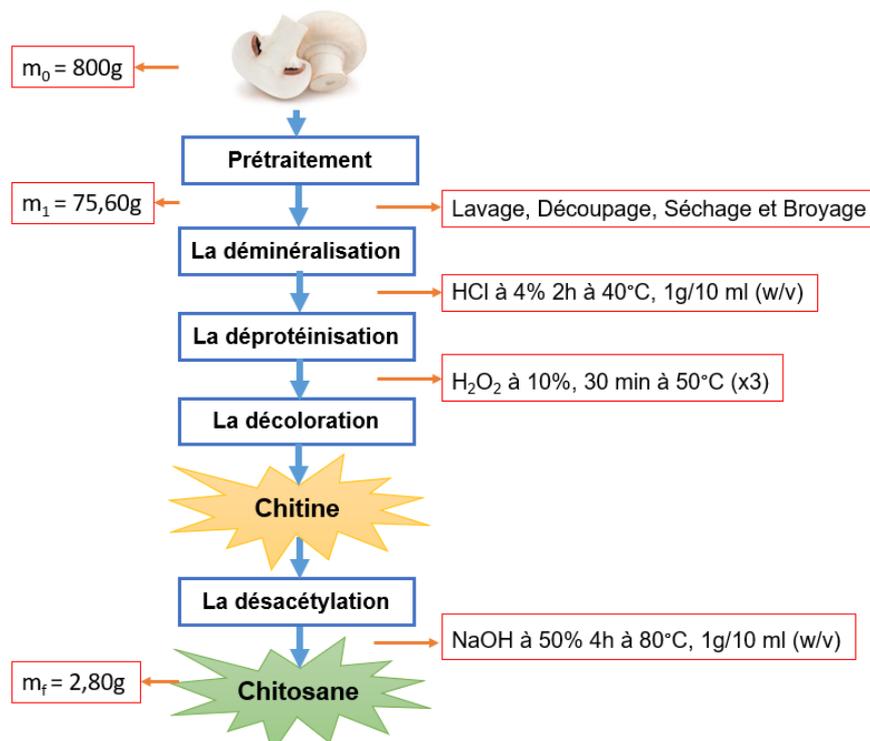


Figure IV. 1 : Schéma des différentes étapes d'extraction de la chitine et chitosane avec les rendements massiques.

IV.2.2.1. Prétraitement

Le prétraitement a été réalisé par l'eau courante afin d'éliminer les résidus indésirables.

IV.2.2.2. La déminéralisation

Cette étape a été effectuée par un traitement acide. Cette étape a été contribué à l'élimination des impuretés minérales résiduelles de la chitine [3,4].

Pendant le processus de déminéralisation et au cours de la réaction, des mousses indésirables peuvent se former dues à la production de dioxyde de carbone. C'est une indication de l'étendue de la matière minérale présente dans la matière solide en dégagant des odeurs désagréables. En plus, une diminution de la masse solide due à la solubilisation des minéraux [5].

IV.2.2.3. La déprotéinisation

Dans l'étape basique de déprotéinisation, le traitement chimique est utilisé pour détruire les liaisons chimiques covalentes entre les complexes chitine-protéine. La solution alcaline d'hydroxyde de sodium permet aussi d'éliminer les faibles quantités de lipides et de pigments [3,6].

IV.2.2.4. La décoloration

La décoloration a pour objectif d'éliminer les traces de pigments présents dans la chitine. Dans ce travail, on a utilisé le peroxyde d'hydrogène (H_2O_2), car il ne dégrade pas les chaînes polymères et n'a aucun effet sur les propriétés physico-chimiques de la chitine lors du processus de réaction du blanchiment [7].

IV.2.2.5. La désacétylation

La désacétylation est une réaction qui doit être réalisée dans des conditions bien plus dures que la déprotéinisation. La désacétylation de la chitine est effectuée pour éliminer le groupe acétyle. Elle est généralement réalisée par utilisation de solution d'hydroxyde de sodium concentré [3].

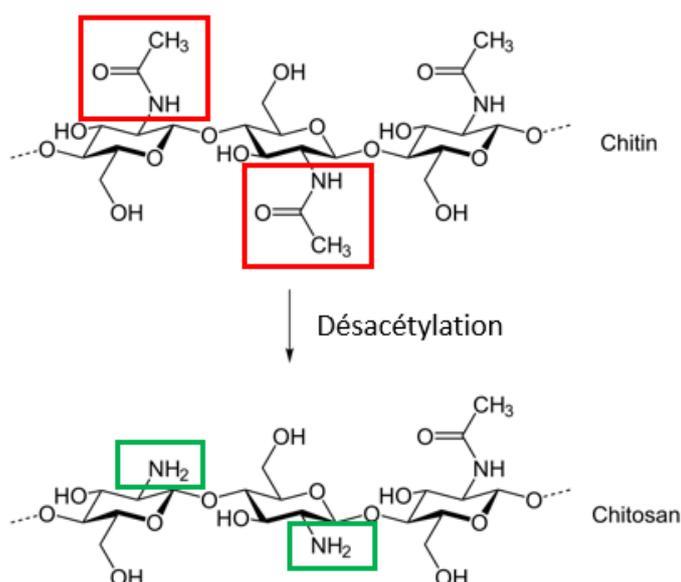


Figure IV. 2 : Schéma descriptive de la méthode d'obtention du chitosane à partir de chitine.

IV.3. Résultats des caractérisations physico-chimiques

IV.3.1. La spectroscopie infrarouge (FTIR)

La figure IV.3 montre l'identification structurale et les groupes fonctionnels par FTIR du chitosane obtenu par isolement à partir des champignons dans la gamme de 400-4000 cm^{-1} .

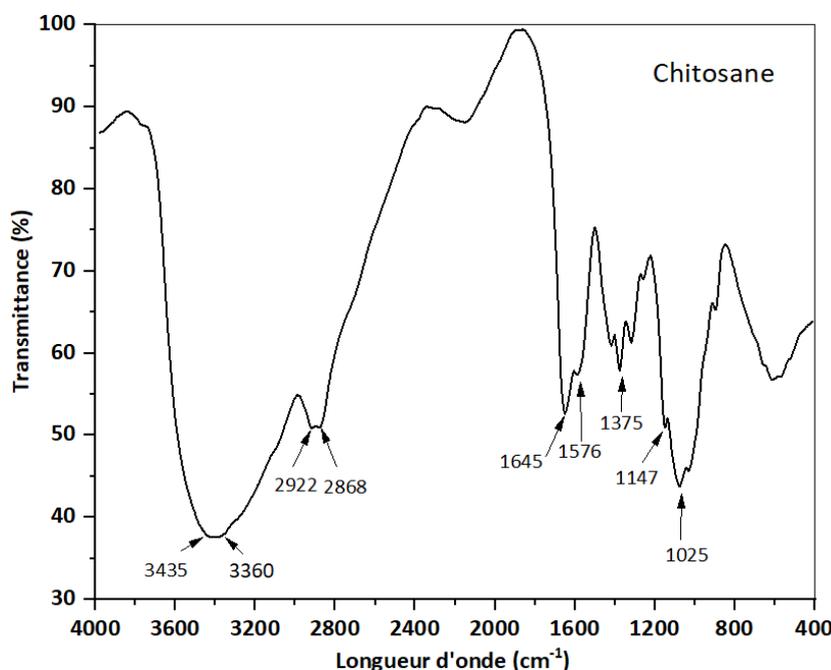


Figure IV.3 : Le spectre FTIR de chitosane.

Le spectre du chitosane montre une large bande de longueur de 3360 cm^{-1} à 3435 cm^{-1} liée aux vibrations de valence des groupes $-\text{NH}_2$ libres et des groupes hydroxyles O-H et des groupes N-H, respectivement [2,8].

Des petits pics observés à 2922 cm^{-1} et 2868 cm^{-1} sont attribués aux vibrations C-H des chaînes alkyles, dans le groupement CH_3 et CH_2 [2,8]. En raison de l'élimination du groupe acétyle, la bande d'absorption à 1645 cm^{-1} a une forte intensité qui est attribuée à la bande carbonyle C=O (Amide I) ; c'était un amide formé par des réactions entre l'hydrogène et les groupes hydroxyle (chitine désacétylée) [2,8]. La bande à 1576 cm^{-1} liée à la déformation -NH et d'étirements C-H appelée bande d'amide II [8]. L'absence des pics d'absorption à 1540 cm^{-1} et à 1700-1740 cm^{-1} attribués aux protéines, confirme que le chitosane extrait est exempt de protéines et, par voie de conséquence, l'étape de déprotéinisation choisie était suffisante [3].

Le pic à 1375 cm^{-1} est un amide III résultant de C-N qui s'étend de la N-acétyl-glucosamine. Le pic d'absorption à 1147 cm^{-1} montre une liaison glycosidique symétrique (C-O-C) [8]. L'absence des bandes dans l'intervalle de fréquence 1025-601 cm^{-1} , indique le changement de la structure du polysaccharide [8].

IV.3.2. Le degré d'acétylation (DD)

Le degré de désacétylation (DD) est le facteur le plus important car il est utilisé pour déterminer la qualité du chitosane produit ; Cela affecte les propriétés chimiques, physiques et biologiques du

chitosane, telles que son absorption. Le degré de désacétylation (DD) du chitosane peut affecter ses propriétés d'adsorption dans le traitement des eaux usées.

Dans ce travail l'analyse FTIR a été utilisée pour déterminer le degré de désacétylation (DD) du chitosane préparé. La valeur du degré de désacétylation dépend de plusieurs facteurs tels que la source, la méthode de préparation de l'échantillon, le type d'appareils utilisés dans l'analyse, ainsi que la méthode et la technologie de l'analyse [2,9]. Après les calculs ; le degré de désacétylation (DD) du chitosane préparé a été de 98%.

IV.4. Évaluation de l'activité photocatalytique

IV.4.1. Activité photocatalytique du chitosane

L'adsorption s'impose comme une méthode optimale pour l'élimination des colorants. La richesse en fonctionnalités aminées du chitosane lui confère de nouvelles propriétés d'adsorption vis-à-vis d'une large gamme d'ions métalliques et de colorants organiques. La spectroscopie UV-Vis est utilisée pour évaluer l'efficacité d'adsorption de chitosane et l'élimination du colorant du bleu de méthylène, comme le montre la figure IV.4.

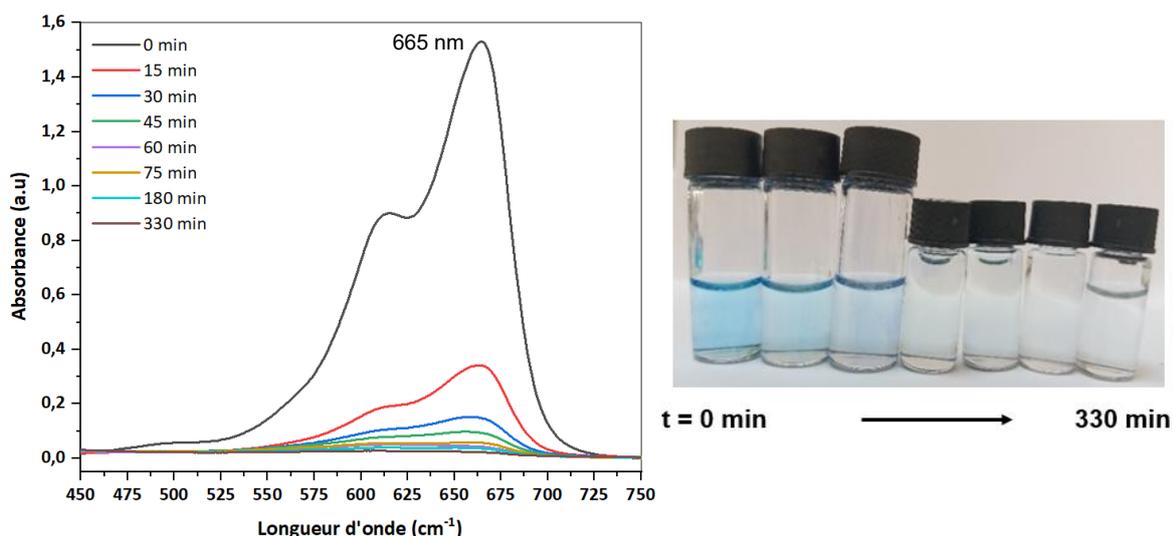


Figure IV.4 : Evolution des spectres d'absorption UV –Visible du bleu de méthylène en fonction du temps et sous irradiation solaire par chitosane.

On remarque que l'intensité de pic à 665 nm caractérisant le bleu de méthylène diminue avec le temps d'irradiation et s'annule à 330 min. Ce résultat nous permet de conclure que la photocatalyse permet une dégradation complète du bleu de méthylène.

L'effet du temps de contact sur le taux d'élimination du bleu de méthylène a été étudié sur une gamme de 0 à 330 min et la variation de la capacité d'adsorption est représentée sur la figure IV.5. Les résultats obtenus montrent que le taux d'élimination augmente rapidement pendant les 15 premières minutes, puis augmente lentement jusqu'à 30 minutes, puis il reste quasiment constant. La figure IV.5 montre que le taux d'élimination du bleu de méthylène a été atteint à 330 min avec 98,56 %.

L'ajout de chitosane au mélange réactionnel entraînait la décomposition du colorant. Le degré de désacétylation (DD) du chitosane extrait des champignons (98 %) jouait un rôle crucial dans ce

processus, car une augmentation du DD se traduisait par une capacité d'absorption accrue du chitosane [9,10].

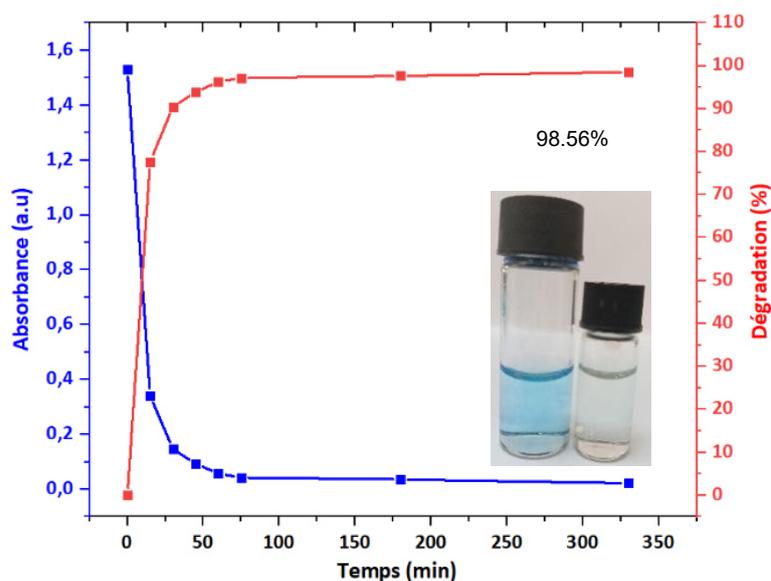


Figure IV.5 : L'efficacité de dégradation du bleu de méthylène par le chitosane.

La figure IV.6 représente le schéma des interactions hydrophobes, des attractions électrostatiques et des liaisons hydrogène entre le chitosane et le bleu de méthylène.

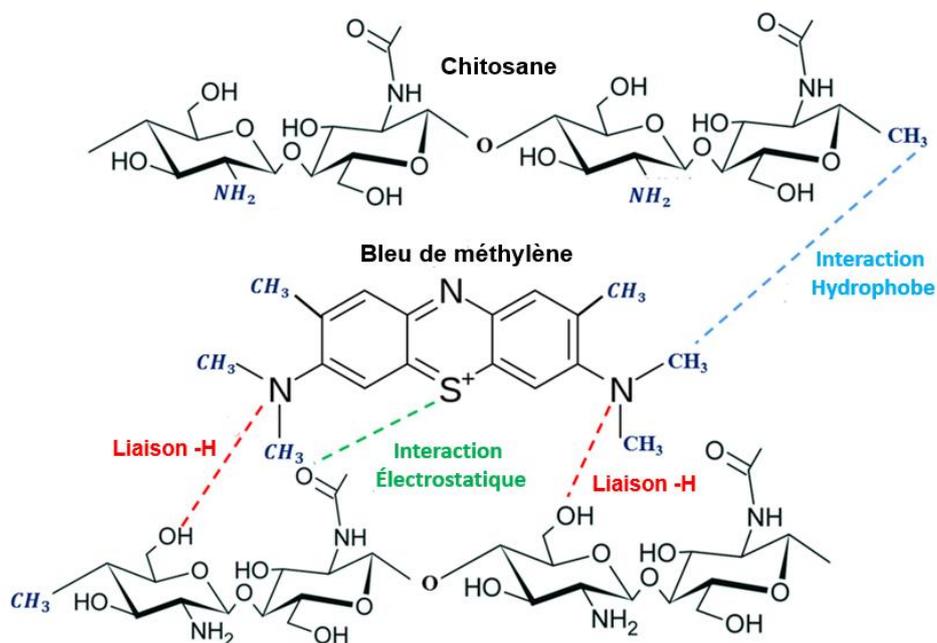


Figure IV.6 : Schéma des interactions hydrophobes, des attractions électrostatiques et des liaisons hydrogène entre le chitosane et le bleu de méthylène [2,10].

Le chitosane présente des propriétés remarquables qui le rendent particulièrement adapté à l'adsorption du bleu de méthylène.

- **Groupes fonctionnels**

Le chitosane possède des groupes amino ($-NH_2$) capables de former des liaisons de coordination avec des ions chargés positivement comme les colorants. Il contient également des groupes hydroxyle

(-OH) qui forment des liaisons hydrogène, renforçant ainsi l'interaction avec le bleu de méthylène [2,9,10].

- **Nature hydrophile**

Les groupes -OH et -NH₂ rendent le chitosane hydrophile, ce qui permet sa dissolution dans l'eau, essentielle pour l'adsorption du bleu de méthylène. Les liaisons hydrogène avec l'eau facilitent l'accès aux sites d'adsorption [2,9,10].

- **Structure et propriétés d'adsorption**

Le chitosane incorpore des groupes acétyle liés (-COCH₃) en plus des groupes amino. Ces groupes acétyle contribuent à la structure globale du chitosane et influencent ses propriétés d'adsorption.

Le degré d'acétylation, qui correspond à la proportion de groupes acétyle sur le chitosane, joue un rôle crucial dans l'efficacité d'adsorption du bleu de méthylène. Un degré d'acétylation optimal permet d'équilibrer les interactions entre le chitosane et le colorant, favorisant une adsorption optimale [2,9,10].

IV.4.2. Activité photocatalytique du nanocomposite ZnO-MgO-Chitosane

L'activité photocatalytique de nanocomposite ZnO-MgO-Chitosane a été évaluée par la dégradation du bleu de méthylène comme modèle polluant, sous irradiation solaire. Les variations temporelles de la concentration du colorant de bleu de méthylène avec l'effet des catalyseurs sont surveillées en détectant la variation de l'absorbance maximale dans les spectres UV-vis à 665 nm. La figure IV.7 montre la variation temporelle des spectres d'absorbances UV-Vis du colorant de bleu de méthylène, sous irradiation solaire pendant 330min.

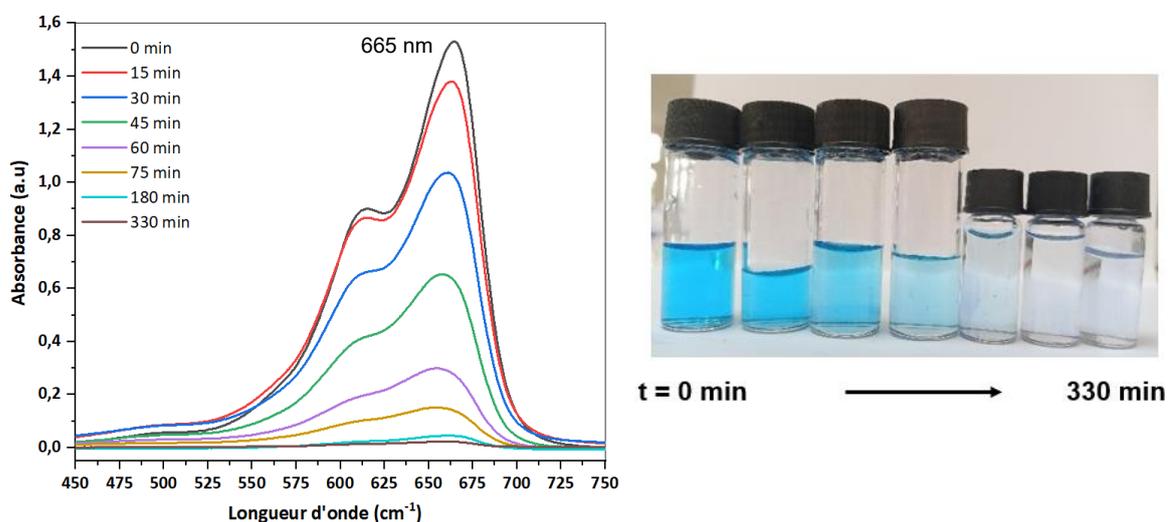


Figure IV.7 : Evolution des spectres d'absorption UV –Visible du Bleu de méthylène en fonction du temps et sous irradiation solaire par le nanocomposite ZnO-MgO-Chitosane.

On remarque que l'intensité des pics d'absorptions du bleu de méthylène à 665 nm est diminuée progressivement avec l'allongement du temps et s'annule à 330 min, Ce résultat nous permet de conclure que la photocatalyse permet une dégradation complète de ce colorant. D'après la loi de Beer-Lambert ($A = \epsilon l C$), la diminution de l'absorption optique du bleu de méthylène signifie la diminution de sa concentration, confirmant la décoloration complète de l'eau par ce catalyseur [11,12].

L'effet du temps de contact sur le taux d'élimination du bleu de méthylène, a été étudié sur une gamme de 0 à 330 min et la variation de la capacité d'adsorption est représentée sur la figure IV.8.

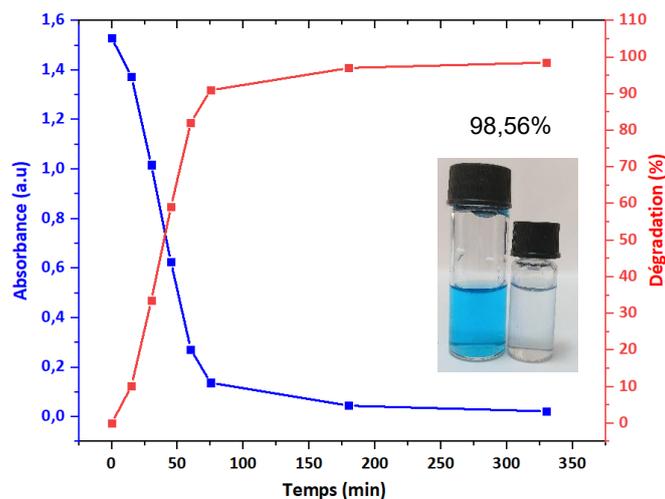


Figure IV.8 : L'efficacité de dégradation du bleu de méthylène par le nanocomposite ZnO-MgO-Chitosane.

D'après cette figure, il faut mentionner ici que le catalyseur a une activité photocatalytique élevée pour dégrader le bleu de méthylène, et l'efficacité de dégradation de cet échantillon est de 98,56 %. Notamment, les nanocomposites ont une efficacité de dégradation [11,12], cette amélioration est due à plusieurs raisons :

- 1/ Les effets synergiques entre les oxydes métalliques MgO et ZnO.
- 2/ La région d'accumulation des charges et la région d'appauvrissement des charges limitent le transfert d'électrons / trous entre MgO et ZnO.
- 3/ Utilisation de la plupart du spectre solaire par les nanocomposites ZnO-MgO, de l'ultraviolet jusqu'à la lumière visible [200 – 800 nm].
- 4/ La taille nanométrique des particules facilite la migration des charges (e^- , h^+) photogénérées vers la surface [13,14].

Références bibliographiques

- [1] : Morais, M. H., et al. "Note. Production of shiitake mushroom (*Lentinus edodes*) on lignocellulosic residues/Nota. Cultivo del hongo shiitake (*Lentinus edodes*) en residuos lignocelulósicos." *Food Science and Technology International* 6.2 (2000): 123-128.
- [2] : BEN AMOR Ilham. Synthèse et caractérisation de nanoparticules métalliques par le chitosane. Thèse de doctorat, Université El-Oued, 2024.
- [3] : HASSAINIA Abdelghani. Obtention du biopolymère « chitine » à partir du champignon « *Agaricus Bisporus* » : Extraction et caractérisation. Thèse de doctorat, Université de Guelma, 2018.
- [4] : Wu, T., et al. "Chitin and chitosan value-added products from mushroom waste." *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 52.26 (2004): 7905-7910.
- [5]: T. Paul et al., "Production of chitin and bioactive materials from Black tiger shrimp (*Penaeus monodon*) shell waste by the treatment of bacterial protease cocktail," *3 Biotech*, vol. 5, no. 4, pp. 483–493, 2014.
- [6]: Kaya, Murat, et al. "Differentiations of chitin content and surface morphologies of chitins extracted from male and female grasshopper species." *PloS one* 10.1 (2015): e0115531.
- [7]: K. Kamala, P. Sivaperumal, and R. Rajaram, "Extraction and Characterization of Water-Soluble Chitosan from *Parapeneopsis Stylifera* Shrimp Shell Waste and Its Antibacterial Activity," *International Journal of Scientific and Research Publications*, vol. 3, no. 4, pp. 1–8, 2013.
- [8]: TOUATI Hamed, DJARI Hichem, RAMDANI Yacine. Extraction et optimisation de degré d'acétylation du chitosane. Mémoire de master, Université El Oued, 2019.
- [9] : Amor, I. B., Hemmami, H., Laouini, S. E., Abdelaziz, A. G., & Barhoum, A. (2023). Influence of chitosan source and degree of deacetylation on antibacterial activity and adsorption of AZO dye from water. *Biomass Conversion and Biorefinery*, 1-11.
- [10]: Ben Amor, I., Hemmami, H., Laouini, S. E., Zeghoud, S., Benzina, M., Achour, S., ... & Barhoum, A. (2023). Use of insect-derived chitosan for the removal of methylene blue dye from wastewater: process optimization using a central composite design. *Materials*, 16(14), 5049.
- [11]: KHELIFI O, MEHREZ I, BEN SALAH W, BEN SALAH F, YOUNSI M, NACEF M, AFFOUNE A.M. (2016). Etude de l'adsorption du Bleu de Méthylène (BM) à partir des solutions aqueuses sur un biosorbant préparé à partir des noyaux de datte Algérienne. *Larhyss Journal*, (28), 135-148.
- [12] : LAZOUL Lamia. Synthèse et caractérisation des nanoparticules hybrides à base de ZnO (Application en photocatalyse). Mémoire de master, Université Mouloud Mammeri, Tizi-Ouzou, 2017.
- [13] : ABDOUN Salah, ACHICHE Rayane. Synthèse de nanocomposites à base de ZnO par la méthode hydrothermale et leurs applications à photodégradation photocatalytique et antibactérienne. Mémoire de Master, Université Larbi Ben Mhidi, Oum El Bouaghi, 2021.
- [14] : AYACHI Ahmed Abdelhakim. Synthèse des nanoparticules d'oxydes métalliques pour des applications photocatalytiques solaires : cas des nanoparticules d'oxyde de fer alpha. Thèse de Doctorat, Université Des Frères Mentouri, Constantine, 2015.

Conclusion générale

Conclusion générale

Cette étude s'inscrit dans le cadre de la valorisation de la biomasse animale et de son exploitation pour obtenir des matières à haute valeur économique. Elle vise également à maintenir un environnement équilibré en utilisant ces biomasses animales pour la production de biopolymères, notamment le chitosane. Ce dernier sera ensuite valorisé dans la fabrication de nanocomposites, qui seront appliqués au traitement des eaux contaminées par des colorants organiques.

Le chitosane et les nanocomposites fabriqués à partir de chitosane extrait de champignons ont été étudiés et caractérisés à l'aide des techniques d'analyse standardisées telles que la spectroscopie UV-Vis et la spectroscopie infrarouge à transformée de Fourier (FTIR). L'efficacité d'adsorption du bleu de méthylène, une molécule polluante fréquemment présente dans les eaux usées par le chitosane et les nanocomposites préparées, a ensuite été mesurée.

Dans un premier temps, le chitosane a été extrait du champignon par plusieurs étapes. Ensuite, le nanocomposite ZnO-MgO-Chitosane a été élaboré par la méthode de chimie verte, une méthode simple, peu coûteuse et facile à mettre en œuvre.

Cette étude a montré que la teneur en matière sèche après séchage était de 75,60 g, contre 800 g avant séchage. Le rendement en chitosane isolé des champignons sélectionnés était de 2,80 g. Cette différence de rendement en chitosane peut s'expliquer par plusieurs facteurs, dont l'origine du champignon, le processus d'élimination des protéines et le degré de désacétylation.

Le chitosane extrait présente une capacité d'élimination des polluants organiques de l'eau contaminée. Cette propriété a été confirmée par des tests utilisant le bleu de méthylène comme polluant modèle. Le chitosane a démontré une capacité d'adsorption élevée pour ce colorant, avec une efficacité d'élimination de 98,56 % atteinte en 330 min.

L'adsorption du colorant a également été influencée par le degré de désacétylation (DD) du chitosane. En effet, une augmentation du DD s'est accompagnée d'une augmentation de la capacité d'adsorption, atteignant qui était d'environ 98%.

Le bio-nanocomposite ZnO-MgO-Chitosane a également démontré une capacité d'adsorption élevée pour le colorant bleu de méthylène, avec une efficacité d'élimination de 98,56 % atteinte en 330 min.

Le chitosane, un biopolymère naturel abondant, peut être utilisé comme matériau alternatif aux adsorbants classiques tels que le charbon actif pour le traitement des eaux usées. Les résultats de cette étude démontrent l'efficacité du chitosane dans l'élimination des colorants des eaux usées. De plus, l'étude montre que le chitosane peut être extrait de champignons, ouvrant la voie à une source durable et respectueuse de l'environnement pour ce matériau prometteur.

La synthèse de nanocomposites à base de chitosane se révèle être une approche prometteuse pour une multitude d'applications dans divers domaines tels que la médecine, l'agriculture et les sciences de l'environnement. Le chitosane, polymère biocompatible et biodégradable, s'impose comme un candidat de choix pour la synthèse de nanocomposites. Ses propriétés uniques, telles que sa capacité à encapsuler ou à stabiliser des molécules, en font un matériau aux multiples facettes et aux applications potentielles vastes.

Conclusion générale

La synthèse de nanocomposites à base de chitosane se présente comme une approche innovante et prometteuse pour le développement de technologies durables. Cette technique offre plusieurs avantages remarquables, notamment : une efficacité accrue dans l'élimination des polluants des eaux usées et un caractère écologique et respectueux de l'environnement. En résumé, la synthèse de nanocomposites à base de chitosane ouvre la voie à un avenir prometteur, offrant des solutions durables et performantes pour relever des défis majeurs dans des domaines tels que la médecine, l'agriculture et la protection de l'environnement.

Annexe

République Algérienne Démocratique et Populaire

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

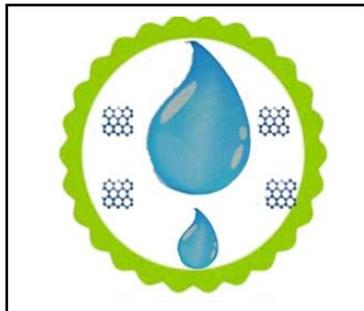
Université 08 Mai 1945 – Guelma

L'incubateur universitaire-Guelma

Titre du projet :

Traitement des eaux par des bionanocomposites

Projet pour obtenir un diplôme Startup dans le cadre de l'Arrêté
Ministériel 1275



Le nom commercial

AquaBio-NanoPure

Année universitaire : 2023/2024

Carte d'information

À propos de l'équipe d'encadrement du groupe de travail



1. Équipe d'encadrement:

Équipe d'encadrement		
<u>Encadrant principal :</u> KOUADRI Imane	<u>Spécialité :</u> Génie des procédés	

2. Équipe de projet :

<u>Équipe de projet</u>	<u>Faculté</u>	<u>Spécialité</u>	
Étudiante 1 : Khalifa Wafa	Science et Technologies	Génie des procédés des matériaux	
Étudiante 2 : Chelghoum Dounia	Science et Technologies	Génie des procédés des matériaux	

Table des matières

Premier axe : Présentation du projet

1. L'idée de projet (la solution proposée)
2. Les Valeurs suggérées
3. L'équipe
4. Les Objectifs du projet
5. Le planning de réalisation du projet

Deuxième axe : Aspects innovants

1. La nature des innovations
2. Les domaines d'innovation

Troisième axe : Analyse stratégique du marché

1. Le segment du marché
2. La mesure de l'intensité de la concurrence
3. La stratégie marketing

Quatrième axe : Plan de production et organisation

1. Le processus de production
2. L'approvisionnement
3. La main d'œuvre
4. Les principaux partenaires

Cinquième axe : Plan financier

1. Les coûts et les charges
2. Le chiffre d'affaires
3. Les comptes de résultats escomptés
4. Le plan de trésorerie

Sixième axe : Prototype expérimental

Premier axe

Présentation du projet



1. L'idée de projet (solution proposée) :



L'idée du projet a commencé à travers une étude qui a révélé que l'intensification des activités humaines et industrielles menace nos ressources en eau, où se produisent les rejets de produits chimiques polluent les eaux affectant gravement l'environnement et la santé humaine. Cette pollution met en péril les écosystèmes aquatiques, réduit la disponibilité de l'eau potable et menace la sécurité alimentaire. Il est donc devenu nécessaire de rechercher des solutions innovantes et durables pour traiter les eaux polluées et garantir leur protection pour les générations futures.

Cela se fait par la construction d'une unité de production basée sur les dernières technologies du domaine, et en s'appuyant sur des matières premières (champignons).

Les champignons ont été choisis car ils sont abondants dans la nature.

Pour résoudre ce problème environnemental, il est proposé d'utiliser des bio-nanocomposites comme alternative écologique. Ces matériaux peuvent être synthétisés ou bien extraits de sources naturelles, telles que les champignons, qui a capable de produire un polymère biologique avec d'excellente propriété tel que la stabilisation.

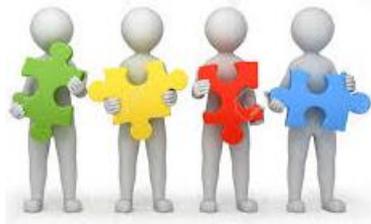
2. Les valeurs proposées :



Les valeurs proposées sont les suivantes :

- Le produit n'est actuellement pas disponible localement, mais nous sommes en train de développer sa production nationale.
- Produit 100 % respectueux de l'environnement.
- Produit local 100 % naturel.
- Faible coût de production grâce à une technologie de pointe.
- Valorisation et exploitation de la biomasse animale (champignons) dans l'industrie des bionanocomposites, dans le but de réduire la pollution environnementale.

3. Équipe de travail :



L'équipe de projet est composée des membres suivants :

- ✓ Etudiante 01 : KHALFA Wefa, Spécialité : Génie des procédés des matériaux, a suivi des formations sur BMC et le Business plan.
- ✓ Etudiante 02 : CHELGHOUM Dounia, Spécialité : Génie des procédés des matériaux, a suivi des formations sur BMC et le Business plan.

Le rôle des étudiantes est la direction du projet et les études de marché et le marketing.

4. Objectifs du projet :



Notre objectif est de devenir, au cours des cinq premières années, le premier producteur de bio-nanocomposites en Algérie, en détenant une part de marché significative de la production nationale (déterminée en fonction de notre capacité de production). Nous visons également à couvrir le marché local et à exporter notre produit vers l'international.

5. Calendrier de réalisation du projet :



			Mois					
			1	2	3	4	5	6
1		Études préalables : choix de l'implantation de l'unité de production, préparation des documents nécessaires	✓	✓				
2		Commande des équipements		✓				
3		Construction d'un siège de production (Usine)		✓	✓	✓		
4		Installation des équipements			✓	✓		
5		Achat de matières premières					✓	
6		Réalisation du prototype					✓	✓

Deuxième axe

Aspects innovants



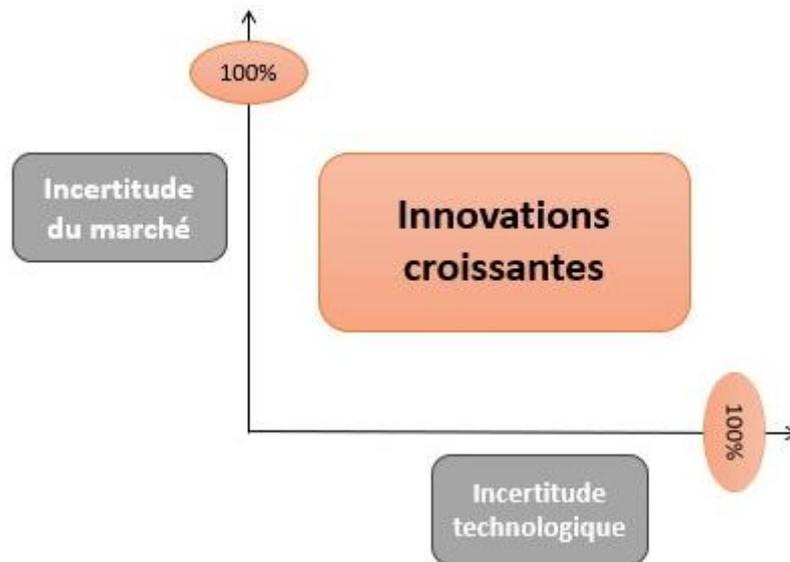
2. Nature et domaine des innovations :



Les aspects innovants de notre projet sont qu'il repose sur l'exploitation de la biomasse, leur transformation en matières premières, puis leur transformation en produit efficace pour traitement des eaux.

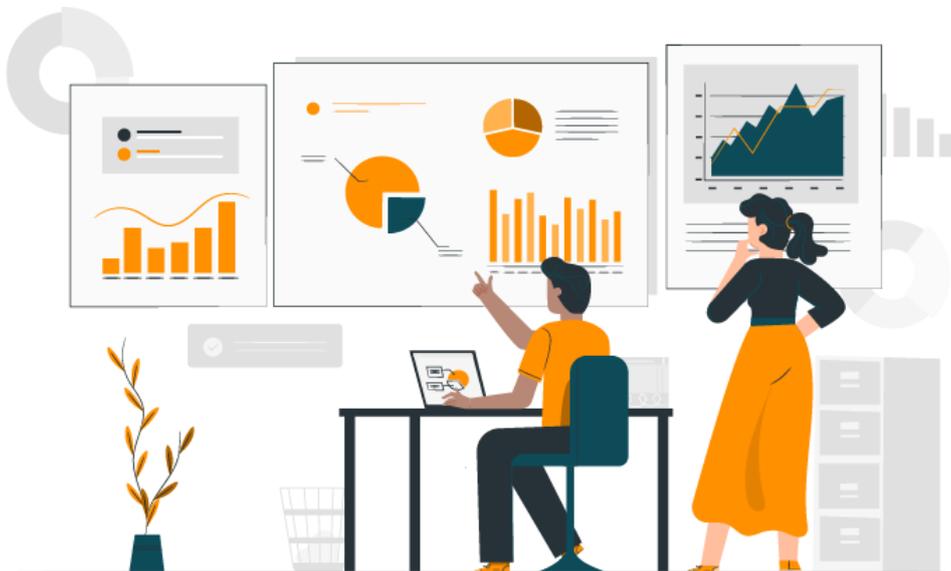
Le premier projet en Algérie basé sur l'utilisation d'une technologie respectueuse de l'environnement dans le processus de production de bio-nanocomposites.

Valorisation de la biomasse et leur utilisation dans la production de nombreux produits d'importance économique.

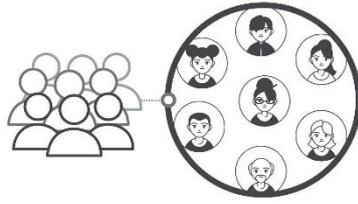


Troisième axe

**Analyse stratégique
du marché**



1. Le segment du marché :



- ✓ Marché potentiel : Les institutions qui souhaitent utiliser du biomatériau respectueux de l'environnement.
- ✓ Marché cible : Les entreprises, les usines et les stations nationales de traitement et d'épuration de l'eau.

Ce segment a été choisi en raison de la plupart des entreprises importent des matières premières coûteuses, tandis que nos produits peuvent être fabriqués localement.

2. Mesure de l'intensité de la concurrence :



Les concurrents les plus importants sur le marché algérien sont : la station de traitement des eaux de Boufarik (Blida) et de Mostaganem, aussi les entreprises spécialisées dans la filtration de l'eau comme : Sarl Nortex à Tizi Ouzou, Eurl Eco Water à Oran.

- Parmi leurs fortes leur ancienneté sur le marché algérien.
- Parmi leurs faiblesses, ils utilisent des matériaux et des composés qui polluent et ne sont pas respectueux de l'environnement.

3. La stratégie marketing :



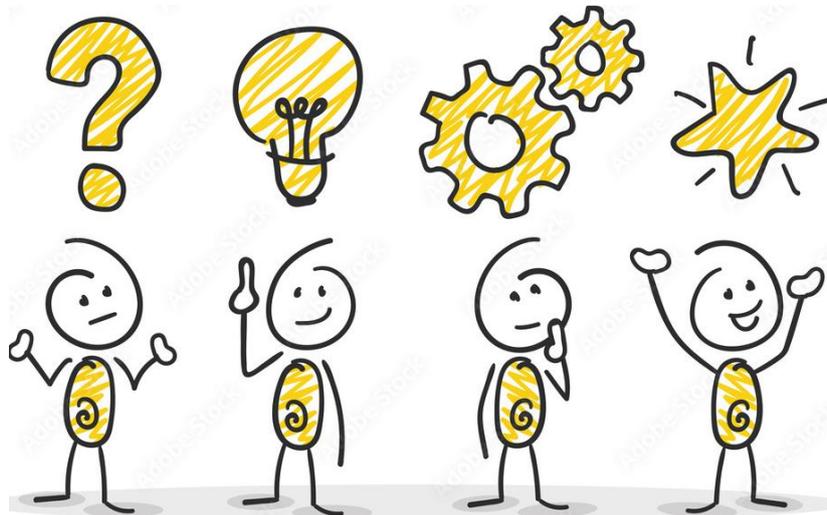
Pour commercialiser nos produits bio-nanocomposites, nous nous appuyons sur une stratégie marketing qui repose principalement sur la publicité et l'information des clients sur les avantages du bio-nanocomposite produit par notre entreprise en ce qu'il s'agit d'un produit respectueux de l'environnement.

Aussi, nous nous appuyons sur une stratégie de commercialisation à des prix compétitifs grâce à notre contrôle de la réduction des coûts, avec l'utilisation d'une technologie de pointe, en plus de notre recours à une application numérique pour distribuer les produits et gérer les commandes.

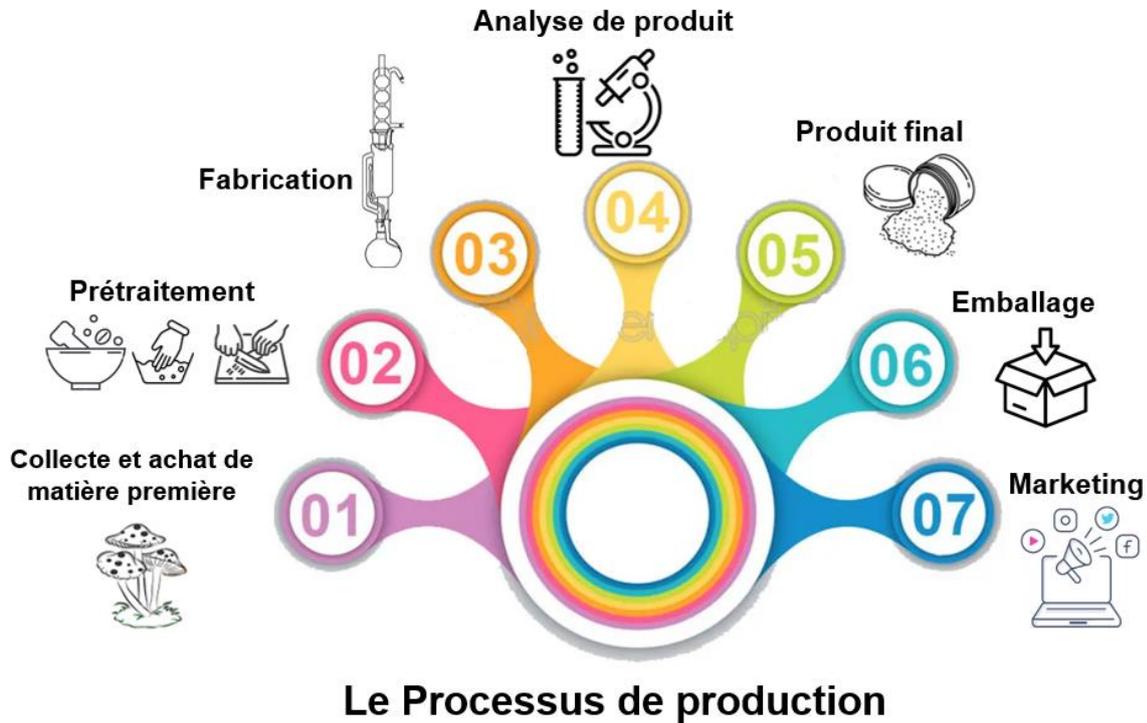
Notre organisation accorde une importance primordiale à la satisfaction de ses clients. C'est pourquoi nous mettons à leur disposition un système d'enregistrement des doléances et des réclamations afin de pouvoir y répondre rapidement et efficacement.

Quatrième axe

**Plan de production et
organisation**



1. Le Processus de production :



2. L'Approvisionnement :



Dans le processus d'achat, nous traitons directement avec les propriétaires des fermes, nos fournisseurs de matières premières, ce qui constitue un avantage concurrentiel pour notre projet.

3. La main d'œuvre :



10 employés directs et environ 05 emplois indirects suffisent pour gérer le travail de l'organisation dans la phase initiale. Notre projet ne nécessite pas de spécialisations précises, sauf pour les ingénieurs et techniciens travaillant sur des équipements de pointe.

4. Les Principaux partenaires :



Les partenariats les plus importants dans notre cas sont les propriétaires agricoles pour fournir la matière première (le champignon) et les fournisseurs de autres produits nécessaires, au regard de l'importance de leurs prestations pour la réussite du projet. Les incubateurs universitaires aussi fournissent une aide précieuse aux projets. Sans oublier les laboratoires de recherche qui nous aidé pour caractériser la qualité notre produit final et les experts dans le domaine du traitement et de la filtration de l'eau pour vous apporter conseils.

Cinquième axe

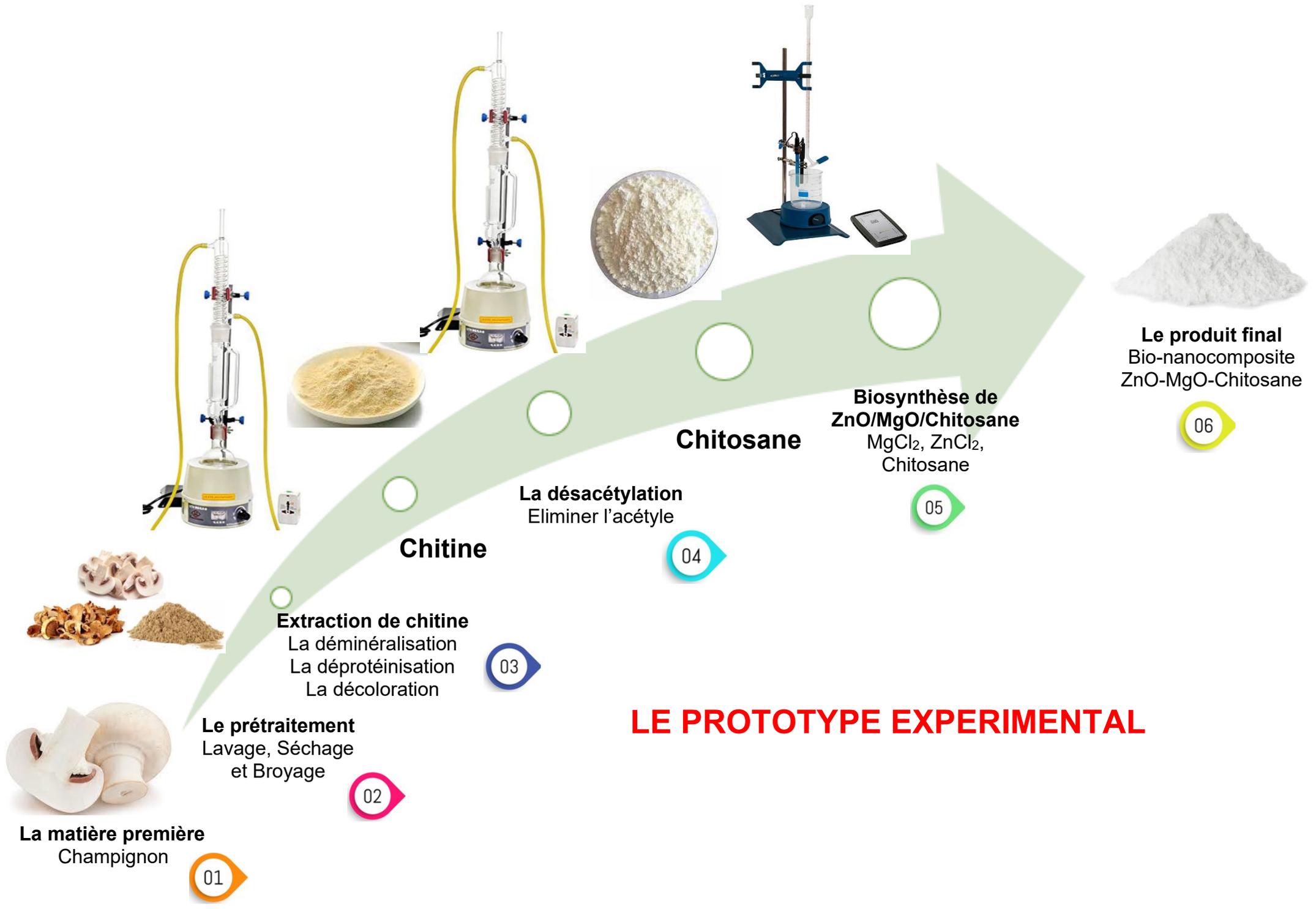
Plan financier



Sixième axe

Prototype expérimental





BMC du projet

<p><u>Segments de clientèle</u></p>  <ul style="list-style-type: none"> • Les usines et • Les stations nationales de traitement et d'épuration de l'eau. 	<p><u>Relation client</u></p>  <ul style="list-style-type: none"> • Bonne communication • Offres, remises et réductions • Prix spéciaux pour grosses quantités 	<p><u>Valeur fournie</u></p>  <ul style="list-style-type: none"> • Produit naturel • Un produit qui n'est pas disponible localement. • Développer un produit national. • Produit 100 % respectueux de l'environnement. • Produit à décomposition rapide. 	<p><u>Activités principales</u></p>  <ul style="list-style-type: none"> • Location ou bien construction et préparation d'usine. • Préparation de l'atelier (matériel, outillage). • Acquisition de matières premières. • Fabrication. • Le marketing de produit. 	<p><u>Principaux partenaires</u></p>  <ul style="list-style-type: none"> • Les agriculteurs • Fournisseurs de matières premières. • Fournisseurs de machines et d'emballages • Fournisseurs de matériel de laboratoire. • Entreprises de livraison.
	<p><u>Les canaux</u></p>  <ul style="list-style-type: none"> • Sites de réseaux sociaux • Bannières publicitaires, affiches et publicités. • Services de livraison. 		<p><u>Ressources clés</u></p>  <ul style="list-style-type: none"> • Champignons • Solutions chimiques • Appareils d'analyse et de surveillance. • Appareils de fabrication 	
<p><u>Sources de revenus</u></p>  <ul style="list-style-type: none"> • Vendre le produit. 		<p><u>Structure des coûts</u></p>  <ul style="list-style-type: none"> • Frais de préparation d'usine. • Coûts d'achat des matières premières. • Frais d'achat d'équipements et de matériel de labo. • Frais de transport, de livraison, de publicité et d'électricité. • Coûts des ressources humaines 		