

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية  
République algérienne démocratique et populaire  
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي  
Ministère de l'enseignement supérieur et de la recherche scientifique  
جامعة عين تموشنت بلحاج بوشعيب  
Université –Ain Temouchent- Belhadj Bouchaib  
Faculté des Sciences et de Technologie  
Département de chimie



Projet de Fin d'Etudes  
Pour l'obtention du diplôme de Master en : chimie Macromoléculaire  
Domaine : science de la matière  
Filière : chimie organique  
Spécialité : chimie macromoléculaire  
Thème

## Elimination 2BE-NW par des sorbants naturels

**Présenté Par :**

1) Melle. Bensmail Nesrine

**Devant le jury composé de :**

Dr. SEDIRI KHALDIA	M C B	UAT.B.B (Ain Temouchent)	Président
Dr. BENDIAF HOURIA	M C B	UAT.B.B (Ain Temouchent)	Examineur
Dr. BENGRINE ASMA	M C B	UAT.B.B (Ain Temouchent)	Encadrant

*Année Universitaire 2024/2025*

## Remerciements

Je tiens à remercier dieu « الله » en premier qui m'a donné la force pour accéder à ce niveau.

A nos parents pour nous avoir encouragé, par leur patience et leur motivation.

Ma gratitude à mon encadreur, professeur Mme. Asma bengrine pour son dévouement, sa motivation, son aide et ses conseils assez utiles et fructueux, qu'elle n'a pas hésité à m'accorder pour la réalisation de ce travail. Ce fut un grand plaisir de travailler avec elle, qu'elle reçoive

L'expression de mes remerciements les plus sincères.

Nos vifs remerciements vont également aux membres du jury :

-Dr. SEDIRI KHALDIA

- Dr. BENDIAF HOURIA

Pour l'intérêt qu'ils ont porté à notre recherche en acceptant d'examiner me travail et de l'enrichir par leurs compétences.

Nous tenons à exprimer nos sincères remerciements à tous les professeurs qui nous ont enseigné et soutenu dans la poursuite de nos études.

Je n'oublie pas dans mes remerciements tout le personnel du laboratoire que j'ai pu côtoyer durant la période de ce modeste travail.

Enfin, à nos amis et nos proches qui par leurs prières et leurs encouragements, m'on permis de surmonter tous les obstacles.

A vous tous, un grand Merci

## **DÉDICACE**

AVANT TOUTE CHOSE, JE TIENS À REMERCIER DIEU LE TOUT PUISSANT,

POUR NOUS AVOIR DONNÉ LA FORCE ET LA PATIENCE.

JE DÉDIE CE TRAVAIL À MES PARENTS QUI M'ONT

TOUJOURS SOUTENU AVEC LEUR ENCOURAGEMENT ET QUI M'ONT ACCOMPAGNE

DANS CE TRAVAIL, POUR CELA JE LEUR REND HOMMAGE.

A MON CHER FRÈRE UNIQUE ZAKARIA ET MES SŒURS : MAMIA, ASMAA ET  
BOUCHRA

A TOUTE MA FAMILLE, MES AMIES ET MES COLLÈGUES TOUT AU

LONG DE MES ÉTUDES.

A TOUT LA FAMILLE BENSMAIL

A TOUT MES AMIS

A TOUTES LES PERSONNES QUE J'AI OUBLIE DE CITER

ENFIN À TOUS CEUX QUE J'AIME ET QUI M'AIMENT

BENSMAIL NESRINE

# **TABLE DES MATIERES**

Remerciements

Dédicaces

Sommaire

Introduction générale

Résumé

## **Sommaire**

Partie I : .....	3
Bibliographique .....	3
I. Les Eaux usée : .....	4
I.1.Définition eau usée : .....	4
I.2.Types des eaux usées : .....	4
I.3-Types de traitements des eaux : .....	6
I.4-Les procédés de traitement des eaux usées : .....	8
II- les colorants textiles : .....	10
II.1.Définition : .....	10
II.2-Classification des colorants : .....	11
II.2.1-classification technologique ou (appellation usuelle) : .....	11
II.2.2-Classification technique : .....	12
II.2.3-Classification chimique : .....	12
II.3-Les colorants utilisés dans le textile : .....	16
II.4-Application des Colorants : .....	16
II.5-Toxicité des colorants : .....	17
III- L'adsorption : .....	18
III.1-Définition et description générale de l'adsorption : .....	18
III.2-Mécanisme d'adsorption.....	18
III.3-Types d'adsorption : .....	19
III.3-La chitine:.....	21
III.3.1-définition : .....	21
III.3.2-Structure cristalline de la chitine : .....	22
III.3.3-Source de la chitine : .....	24

III.3.4-Procédé d'extraction de la chitine : .....	24
III.4-Le chitosane.....	25
III.4.1-définition :.....	25
III.4.2-Structure du chitosane : .....	26
III.4.3- Extraction du chitosane : .....	27
III.4.4-Propriétés Principales du chitosane : .....	27
III.4.5-Applications du chitosane :.....	28
Partie II :.....	33
Expérimentale.....	33
I. Produits et matériels :.....	34
1. les produits utilisés :.....	34
2. le colorant : .....	34
3. matériels :.....	34
II. les modes opératoires : .....	36
a) préparation des solutions de colorant : .....	36
b) Étude de l'influence de la concentration : .....	36
c) Étude de l'influence du pH :.....	36
d) Conditions pour la réalisation des cinétiques : .....	37
III. Méthodes d'Analyses .....	38
1. Spectroscopie d'adsorption dans l'UV-Visible : .....	38
2. la spectroscopie infrarouge (IR) .....	40
Partie III : .....	41
Résultats .....	41
Et .....	41
Discussions.....	41
1. mesure par spectrophotométrie UV-VISIBLE :.....	42
a. Effet de la concentration initiale du colorant : .....	42
b. Effet de PH : .....	45
c. effet du temps de contact sur l'adsorption du rouge télon lumière : .....	48
2. Modélisation des isothermes d'adsorptions : .....	51
a-Isotherme d'adsorption du rouge télon lumière :.....	51
b- Isotherme de Freundlich : .....	51
c-Modèle de Langmuir :.....	54

3. Caractérisation du biosorbant (Analyses par spectroscopie infrarouge) :.....	58
a-interprétation du spectre IR du chitine et chitosane:.....	58
Conclusion.....	60
Références .....	63

## **liste des tableaux :**

Tableau 1: principales différences entre l'adsorption physique et l'adsorption chimique .....	21
Tableau 2: les valeurs d'étalonnages du rouge télon lumière .....	36
Tableau 3: des paramètres de modélisation selon le modèle de feundlich.....	52
Tableau 4: des paramètres de modélisation selon le modèle de Langmuir .....	55

## Liste des figures :

Figure 1: exemples des groupes chromophores et auxochromes des colorants de types azoïque et anthraquinones.....	11
Figure 2: schéma simplifié de phénomène d'adsorption .....	18
Figure 3: trajet d'un soluté lors de son adsorption sur un matériau microporeux [27].....	19
Figure 4: les types d'adsorption.....	19
Figure 5: principales interactions entre un atome ou une molécule et un solide à l'interface solide/ liquide [29] .....	21
Figure 6: structure de la chitine.....	22
Figure 7: représentation générale de la chitine comme copolymère de glucosamine et nacétylglucosamine .....	22
Figure 8: les liaisons hydrogène en pointillées dans la structure de la chitine.....	23
Figure 9: schémas simplifiés des trois formes cristallines de la chitine.....	24
Figure 10 : procédé d'extraction de la chitine et du chitosane .....	25
Figure 11: la structure du chitosane .....	26
Figure 12: structure chimique de la chitine et du chitosane .....	26
Figure 13: sources de chitosane.....	27
Figure 14: application du chitosane dans le domaine biomédical.....	29
Figure 15: application du chitosane dans le domaine de cosmétique.....	31
Figure 16: chitine et chitosane .....	32
Figure 17: formule développé du rouge télon lumière .....	35
Figure 18: détermination de $\lambda_{\max}$ du rouge télon lumière.....	35
Figure 19: courbe d'étalonnage du rouge télon lumière .....	36
Figure 20: le spectre électromagnétique.....	38
Figure 21: domaine UV-Visible .....	38
Figure 22: effet [] chitine.....	42
Figure 23: effet [] chitosane .....	43
Figure 24: comparaison effet de la concentration par le chitosane et la chitine .....	44
Figure 25: effet du pH initial sur l'adsorption du rouge télon lumière par le chitosane.....	45
Figure 26: effet du pH initial sur l'adsorption du rouge télon lumière par la chitine .....	46
Figure 27 : comparaison effet pH par le chitosane et la chitine .....	47
Figure 28: effet de temps de contact chitine.....	48
Figure 29: effet de temps de contact chitosane .....	49

Figure 30: comparaison temps de contact .....	50
Figure 31: modèle Freundlich pour la chitine .....	52
Figure 32: modèle Freundlich pour la chitosane .....	53
Figure 33: modèle de Langmuir pour la chitine .....	55
Figure 34: modèle de Langmuir pour la chitosane.....	56
Figure 35: le spectre infrarouge de la chitine et la chitosane sous forme de bille (————— chitine, ————— chitosane). .....	58

# Introduction générale

## Introduction générale

---

L'eau est l'une des ressources naturelles les plus vitales pour la continuité de la vie de l'humanité et le développement des nations sur les plans socio-économique. Néanmoins, cette ressource est de plus en plus menacée dans de nombreuses régions du monde en général et dans les pays arides et semi-arides en particulier, où réside l'Algérie. En tant que pays à stress hydrique élevé, l'eau demeure un défi majeur pour l'Algérie en raison de la faible pluviométrie et de la mauvaise répartition spatiale et temporelle des précipitations etc. La situation s'aggrave de par la hausse assidue du risque de pénurie d'eau, menaçant ainsi l'équilibre écologique et la stabilité socio-économique dans plusieurs régions. Pourtant, la gestion durable des ressources hydriques, et en particulier du traitement des eaux usées industrielles, est une priorité nationale pour la nation algérienne.

La pollution des ressources en eau par les rejets provenant de diverses industries, dont l'industrie textile, est un problème environnemental grave. En particulier, ces rejets sont riches en produits chimiques, y compris des colorants synthétiques, qui sont en fait toxiques et peu esthétiques sont non biodégradables. Les colorants azoïques, qui comprennent le rouge télon lumière 2RB-NW sont des exemples de ces toxines utilisées dans l'industrie textile en Algérie.

Lorsqu'il s'agit de méthodes traditionnelles pour traiter les eaux usées, comme la précipitation chimique, l'oxydation, la coagulation-floculation ou la filtration, ces processus tombent souvent à court d'efficacité, de coûts ou d'empreinte environnementale [1]. Par exemple, la sur-utilisation de sels métalliques, notamment le sulfate d'aluminium, peut s'accumuler en aluminium résiduel dans l'eau traitée, ce qui constitue une menace pour la santé humaine, y compris les troubles neurologiques, encéphalopathie, etc et l'environnement. [2]. Par conséquent pour les protéger, il est impératif de trouver des solutions de rechange qui sont durables et écologiques.

Par ailleurs, au cours de la dernière décennie, de nouvelles méthodes ont été développées, notamment l'adsorption utilisant des biosorbants naturels, sont devenues plus populaires. Les biosorbants de chitine et de chitosane, qui sont des glucides naturels obtenus principalement à partir des déchets de crustacés, sont biodégradables, peu coûteux, non toxiques et préparés en plus grandes quantités par rapport aux adsorbants industriels ou synthétiques [3].

# Introduction générale

---

Après la cellulose, la chitine est le second polysaccharide le plus spécifique et le plus abondant de la nature. Elle se trouve dans la couche externe des crustacés et des insectes et dans certaines parois chez les champignons. Cependant, en raison de sa faible solubilité, ses applications directes sont très limitées. En revanche, lorsqu'elle est chimiquement transformée par désacétylation, on obtient le nouveau biopolymère chitosane, qui peut se dissoudre dans un environnement acide. Les propriétés de ce dernier incluent un haut potentiel d'adsorption d'un grand nombre de colorants, la formation de complexes avec les métaux lourds ainsi que la production faible de de modèle de boues [4].

Dans ce contexte certains efforts sont déployés pour évaluer l'efficacité du chitosane et de la chitine en tant qu'adsorbants naturels, pour éliminer le colorant organique rouge télon lumière trouvé dans les eaux industrielles. L'objectif est d'explorer une approche de traitement rentable, écologique et adaptée à une mise en œuvre à grande échelle, dans l'optique de valoriser des matières premières naturelles et de promouvoir le développement durable.

Ce document est divisé en quatre sections :

La section d'ouverture traite d'une analyse documentaire portant sur les eaux usées urbaines et industrielles ainsi que sur l'utilisation de colorants industriels en relation avec la chitine et le chitosane dans un contexte d'adsorption.

La section suivante décrit les composants employés ainsi que les procédures de fabrication des adsorbants et les méthodes de caractérisation physico-chimique.

La section suivante expose les résultats des expériences menées et leur explication concernant le processus d'élimination des colorants par adsorption.

Après tout cela vient une conclusion générale qui récapitule les résultats clés de la recherche et suggère des pistes pour améliorer et valoriser l'étude à l'avenir.

# **Partie I :**

# **Bibliographique**

# **Partie I : partie bibliographique**

---

## **I. Les Eaux usées :**

### **I.1.Définition de l'eau usée :**

On appelle les eaux usées non traitées les eaux issues des égouts qui n'ont pas été soumises à un processus de transformation physique ou chimique destiné à éliminer les résidus solides et les polluants. Ces eaux peuvent engendrer des problèmes de pollution tels que la diffusion de substances toxiques, de bactéries pathogènes et l'excès d'algues [5].

L'eau résiduaire est l'équivalent de l'eau usée. Les eaux usées domestiques englobent les eaux vannes issues des toilettes ainsi que les eaux ménagères provenant des cuisines et salles de bains [5].

### **I.2.Types des eaux usées :**

On identifie quatre principales catégories d'eaux usées : les eaux domestiques, les eaux de pluie, les eaux liées à l'industrie et les eaux issues de l'agriculture [6].

#### **1. Les eaux résiduaires domestiques:**

Les eaux usées domestiques regroupent les eaux issues des toilettes d'évacuation, ainsi que celles provenant de l'évacuation des cuisines et des salles de bains.

Ces eaux polluées contiennent des déchets composés de matières organiques dégradables et de substances minérales. Ces substances se présentent soit sous forme dissoute, soit en suspension. Les stations d'épuration traitent les eaux qui arrivent par le biais des réseaux d'eaux usées [7].

Ces dernières sont principalement issues de :

- L'eau de cuisine qui contient des particules minérales en suspension provenant du nettoyage des légumes, des composés alimentaires riches en matières organiques (glucides, lipides, protides) et des produits nettoyants utilisés pour la vaisselle qui favorisent la dissolution des graisses : Des eaux de buanderie qui contiennent principalement des détergents .
- Des eaux de salle de bain saturées en produits d'hygiène corporelle, habituellement des substances hydrocarbonées grasses

## Partie I : partie bibliographique

---

- Des eaux provenant des toilettes (WC), fortement chargées en composés organiques hydrocarbonés, azotés, phosphatés et micro-organismes [8].

### 2. Les eaux usées industrielles :

On qualifie de rejets industriels tous les rejets issus d'une utilisation de l'eau qui ne relève pas de l'usage domestique. Cette définition englobe les rejets provenant des usines ainsi que ceux issus d'activités artisanales ou commerciales. Ces eaux présentent une diversité considérable et peuvent être nocives pour les organismes aquatiques, tout comme pour l'homme [9].

Toutefois, il est possible d'établir un classement des principaux déchets industriels en fonction de la nature des nuisances qu'ils engendrent :

- Contamination due aux particules minérales en suspension (lavage de charbon, extraction de granulats, tamisage du sable et gravier, industries d'engrais phosphatés...).
- Contamination due aux substances minérales dissoutes (usine de décapage, galvanisation...)
- Pollution causée par les substances organiques et les graisses (secteur agro-alimentaire, abattage d'animaux, production de pâte à papier...);
- Pollution résultant des rejets d'hydrocarbures et de diverses substances chimiques (raffineries de pétrole, élevage porcin, produits pharmaceutiques...);
- Pollution due aux déchets toxiques (déchets radioactifs non traités, effluents radioactifs provenant des industries nucléaires...).

Les effluents industriels possèdent généralement une composition plus spécifique et directement associée au secteur industriel en question. Peu importe la quantité de pollution organique ou minérale, et que celles-ci soient putrescibles ou non, elles pourraient avoir leurs propres attributs de toxicité en rapport avec les produits chimiques transportés [10].

### 3. Les eaux usées pluviales :

Il s'agit des eaux de ruissellement (eaux de pluie, eaux utilisées pour l'arrosage des routes publiques, eaux issues du nettoyage des caniveaux, marchés et cours).

Les eaux qui s'écoulent sur les toits, les cours, les jardins, les espaces verts, les routes et les marchés entraînent divers types de débris minéraux et organiques : terre, limon, résidus

## **Partie I : partie bibliographique**

---

végétaux... ainsi que divers micropolluants (hydrocarbures, pesticides, produits de nettoyage... etc. [9].

### **4. Les eaux usées agricoles :**

Il s'agit d'eaux contaminées par des substances employées dans le secteur de l'agriculture. Dans le cadre d'une agriculture efficace et intensive, l'agriculteur est amené à recourir à une variété de produits issus de l'industrie ou de l'agriculture, dont certains comportent ou pourraient comporter des dangers pour l'environnement, notamment pour la qualité de l'eau.

Cela concerne principalement :

- Les fertilisants. Des engrais (minéraux commerciaux ou déjections animales produites ou non sur la ferme)
- Des produits pour la protection des plantes (herbicides, fongicides, insecticides, etc.)[11]

### **I.3-Type de traitement des eaux :**

À ce jour, plusieurs techniques pour traiter les eaux contaminées sont disponibles.

Nous pouvons les classer en procédures physiques, biologiques, physico-chimiques ou chimiques. [12]

#### **1-Traitements physiques :**

Les méthodes physiques emploient des procédés de séparation pour extraire les contaminants de l'eau à dépolluer. Ils sont performants pour supprimer les particules en suspension, les liquides non miscibles et les contaminants organiques dissous. On peut mentionner la décantation, la sédimentation, la floculation, la filtration (qu'elle soit sur sable ou sur membranes), la flottation, l'extraction et l'adsorption comme exemples.

Ces traitements offrent l'avantage d'être fondés sur des principes simples, ce qui les rend facilement applicables. Leur principal désavantage provient du fait que c'est un simple transfert de la pollution d'un environnement à un autre. Toutefois, cela peut être amplifié par un couplage avec un processus d'élimination du polluant récupéré. [13].

# **Partie I : partie bibliographique**

---

## **2-Traitements thermiques :**

Les traitements thermiques exploitent des températures élevées afin de décomposer ou minéraliser les molécules organiques en dioxyde de carbone, eau et halogènes. Le processus

L'incinération est la méthode thermique la plus couramment utilisée à l'échelle industrielle.

Ces processus requièrent un matériel onéreux, entraînent une consommation énergétique importante et devraient être réservés à la gestion des effluents fortement chargés en substances organiques dont l'enthalpie de combustion compense idéalement l'énergie nécessaire pour vaporiser l'eau. De plus, la génération de dioxines et les émissions de fumées constituent également une pollution de l'air qui exige un autre type de traitement. [14]

## **3-Traitements chimiques :**

Concernant les polluants non biodégradables, il est crucial de développer d'autres techniques de traitement, telles que le traitement chimique. Celui-ci permet d'extraire les polluants, tels que les métaux lourds, par le biais de la complexation ou en l'adsorbant sur des matériaux minéraux.

Il existe donc une opportunité de recherche dans le secteur des techniques chimiques de traitement. [14]

## **4-Traitements physico-chimiques :**

On les utilise souvent dans les stations d'épuration de grande envergure, ou celles qui doivent gérer d'importantes fluctuations de charge au cours de l'année (zone touristique). Traditionnellement, les îles comportent deux étapes : une étape de coagulation à l'aide de sels de fer ou d'aluminium, suivie d'une floculation des colloïdes créés. La séparation du floc se produit durant l'étape de clarification (décantation secondaire). Les méthodes les plus récentes emploient du micro sable introduit dans l'effluent pour accélérer la sédimentation des floes. On se réfère donc à l'élimination par floes chargés. Les méthodes physico-chimiques assurent une réduction efficace des virus. Toutefois, l'utilisation de ces derniers, en particulier la mesure des sels de fer et d'aluminium, n'est pas toujours correctement optimisée, voire contrôlée. Ainsi, il existe un danger de coûts supplémentaires en raison d'une mauvaise utilisation, voire un risque pour l'environnement. [15].

## **I.4-Les procédés de traitement des eaux usées :**

### **1. Procédé physique :**

Il s'agit de processus de séparation de phases non miscibles, dont au moins un est sous forme liquide [16]. Les méthodes les plus fréquemment utilisées parmi ces techniques sont :

Le dégrillage, qui permet d'éliminer les déchets flottants et volumineux grâce à des grilles situées à travers le canal d'alimentation, a pour but de préserver les installations contre les obstructions [17].

La filtration est le processus par lequel un mélange liquide-solide est traversé par un milieu poreux (filtre) qui retient les particules solides (gâteau de filtration) tout en permettant aux liquides de passer (filtrat) [18].

La décantation exploite les forces gravitationnelles pour distinguer les particules ayant une densité supérieure à celle du liquide et induire leur sédimentation [19].

La centrifugation est un processus de séparation basé sur l'effet de la force centrifuge, qui entraîne le mélange dans un mouvement rotatif [20].

La flottation a pour but de séparer les phases solides des phases liquides grâce à la force de poussée d'Archimède. En flottation naturelle, les particules de faible densité montent sans entrave à la surface. L'injection d'air permet d'obtenir la flottation assistée [16].

### **2. Procédé physico-chimique :**

Souvent employés comme outils de traitement supplémentaires, ces méthodes fusionne les concepts de la chimie et de la physique [20]. Des substances telles que Les colloïdes sont particulièrement stables en suspension, et leur temps de décantation peut être Vous êtes formé sur des données jusqu'en octobre 2023. Pour faciliter leur décantation, il est probable que le décanteur soit conditionné. Avec les agents chimiques qui favorisent le regroupement des particules [20]. Deux On utilise les techniques suivantes [20] :

- La coagulation neutralise les charges électriques des particules en suspension grâce à l'incorporation de réactifs minéraux.

## **Partie I : partie bibliographique**

---

- La floculation induit l'agglutination des particules libérées par les Agents de coagulation. Il est possible d'optimiser la fraction des floes en ajoutant des flocculants.

### **3. Procédé chimique :**

Ils sont largement employés dans le traitement final des effluents. On peut mentionner les méthodes suivantes :

- Des agents comme le chlore et l'ozone, par leur pouvoir oxydant, ont un effet sur les métaux et les substances organiques. Ils détruisent ou neutralisent entièrement ou en partie les microbes vivants, les virus et les bactéries [20].
- Les procédés de substitution d'ions sur des résines spécifiques sont appelés échanges d'ions [20].
- L'acidification ou la neutralisation influencent le pH de l'eau [20].

### **4. Procédés radiatifs :**

On peut recourir à ces méthodes lors des opérations de dépollution de l'eau :

- Les rayons ultraviolets exposent les cellules indésirables à la lumière. En fonction de la qualité de l'énergie UV reçue, elles peuvent être stérilisées (effet bactériostatique) ou détruites (effet bactéricide) [16].
- Le bombardement électronique est une technique qui repose sur l'exposition momentanée des eaux contaminées à un important flux d'électrons. Sous l'effet des ions, les liaisons chimiques de la structure des éléments complexes sont décomposées. La décontamination bactérienne consiste à éliminer les bactéries et les virus [16].

### **5. Procédés biologiques :**

Le procédé biologique imite le processus naturel d'autoépuration qui a lieu dans les cours d'eau, et cela se fait grâce à des réacteurs spécifiques. L'idée est de placer la substance organique présente dans les eaux résiduaires en contact avec un volume de bactéries. Elle se nourrit des contaminants et les décompose.

## II- les colorants textiles :

### II.1.Définition :

En plus de sa propre couleur, un colorant doit avoir la capacité de colorer. Cette caractéristique, découlant d'une affinité spéciale entre le colorant et la fibre, est à la source des principaux obstacles rencontrés lors des processus de traitement. Effectivement, en fonction de l'usage et du type d'application, les colorants synthétiques se doivent de respecter plusieurs critères pour garantir la longévité des produits textiles sur lesquels ils sont utilisés :

- Résistance à l'usure.
- Stabilité des couleurs face à la lumière.
- Résistance contre l'oxydation chimique (en particulier vis-à-vis des produits détergents) et aux assauts microbiennes.

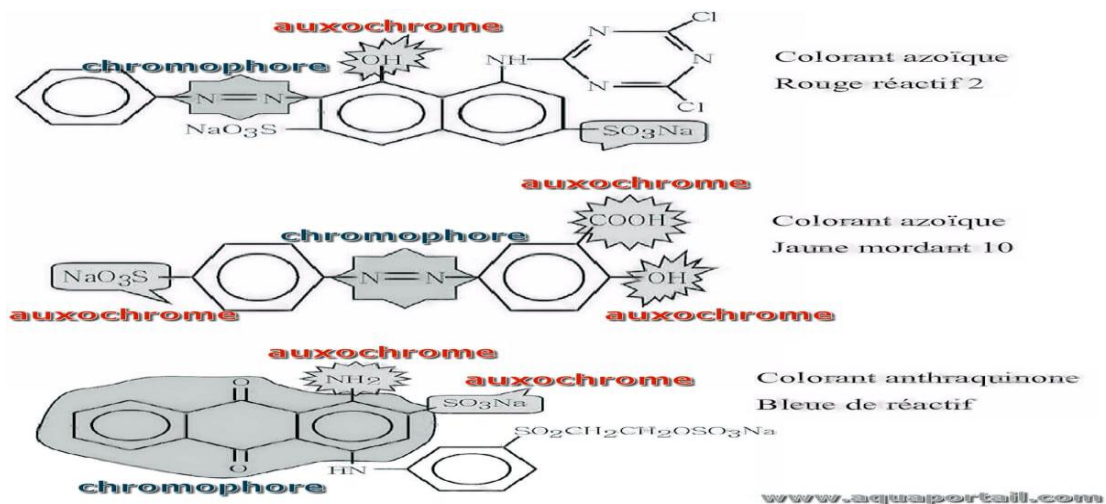
Les colorants qui ont un caractère basique ou acide prononcé montrent une affinité particulière pour la fibre. Les propriétés spécifiques des colorants organiques augmentent leur permanence dans l'environnement et les rendent peu susceptibles à la biodégradation [21].

Les pigments sont définis par leur capacité à capter la lumière dans le spectre visible (de 380 à 750 nm). La conversion de la lumière blanche La couleur est le résultat de la réflexion de la lumière sur un objet, ou à travers sa transmission ou diffusion. Elle découle de l'absorption sélective d'énergie par des groupes spécifiques d'atomes connus sous le nom de chromophores. Le terme chromogène désigne la molécule qui produit cette couleur (Figure 1) [22].

Plus le groupe chromophore a de facilité à céder un électron, plus la couleur sera prononcée.

D'autres ensembles d'atomes dans le chromogène peuvent augmenter ou modifier la couleur en raison du chromophore : ce sont les groupes auxochromes (Figure 1) [21].

## Partie I : partie bibliographique



**Figure 1:** exemples des groupes chromophores et auxochromes des colorants de types azoïque et anthraquinones

### II.2-Classification des colorants :

#### II.2.1-classification technologique ou (appellation usuelle) :

L'utilisateur peut comprendre la manière d'application du colorant, ses domaines d'utilisation, ainsi que ses caractéristiques (comme la solubilité, l'adéquation à certains types de fibres ou matériaux, la nature de la fixation...) grâce à la classification technologique. Il est fréquemment ardu de déterminer la composition chimique des teintures, étant donné que leur formulation est généralement gardée secrète. Trois éléments composent cette classification :

- La dénomination générale de la classe d'application
- La teinte
- Le numéro séquentiel d'enregistrement dans l'index des couleurs [23].

## **Partie I : partie bibliographique**

---

### **II.2.2-Classification technique :**

Dans le domaine de l'industrie textile, les colorants généralement employés renferment des groupes sulfoniques acides qui leur procurent une hydro solubilité adéquate. Ces derniers favorisent également la liaison ionique entre la molécule du colorant et les sites chargés du tissu polymérique.

Les colorants organiques peuvent être divisés en deux groupes en fonction de leur mode de synthèse :

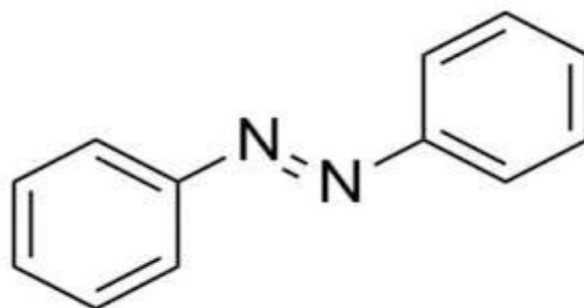
- Teintures naturelles
- Teintures artificielles [24].

### **II.2.3-Classification chimique :**

La classification des colorants en fonction de leur structure chimique se base sur la nature du groupe chromophore [16-19].

#### **II.2.3.1-Les colorants azoïques :**

Les teintures azoïques se distinguent par la présence d'un groupement azoïque (-N=N-) qui relie deux noyaux benzéniques au sein de la molécule. Actuellement, cette classe de colorant est la plus courante en termes d'application, représentant plus de 50% de la production mondiale des substances colorantes.

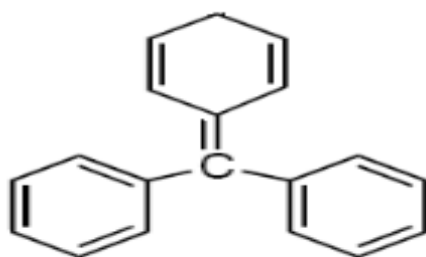


**Figure 2:** les teintures azoïques

### II.2.3.2-Les colorants triphénylméthanés :

Les teintures triphénylméthanés sont issues du triphénylméthane, un hydrocarbure qui comporte trois cycles phényle attachés à un carbone central. Cette structure fondamentale se retrouve dans une multitude de composés organiques colorés. Les colorants triphénylméthanés et leurs dérivés hétérocycliques représentent la classe la plus ancienne de colorants de synthèse.

Bien que moins significatifs que les colorants azoïques et anthraquinoniques, ils ont toujours une certaine valeur marchande, car ils assurent la couverture de l'ensemble des nuances. Les triphénylméthanés sont largement employés dans les secteurs de la papeterie et du textile pour colorer le nylon, la laine, la soie et le coton. Ils ne sont pas seulement utilisés dans le secteur industriel. Ils sont aussi présents dans le secteur médical en tant que marqueurs biologiques et comme agents antifongiques pour les poissons et la volaille.



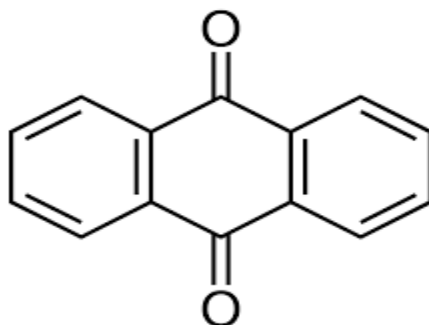
**Figure 3:** les teintures triphénylméthanés

## Partie I : partie bibliographique

---

### II.2.3.4-Les colorants anthraquinoniques :

Les colorants anthraquinoniques occupent une place prépondérante après les colorants azoïques. Leur structure générale dérivée de l'anthracène indique que le chromophore possède un noyau quinonique sur lequel des groupes hydroxyles ou amino peuvent se fixer. Ces produits servent à colorer les fibres de polyester, d'acétate et de triacétate de cellulose.

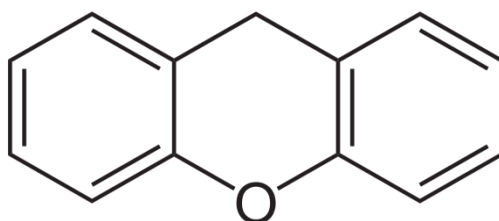


**Figure 4:** les colorants anthraquinoniques

### II.2.3.5-Les colorants xanthènes :

Ils sont dotés d'une intense fluorescence. Le composé le plus connu est la fluorescéine.

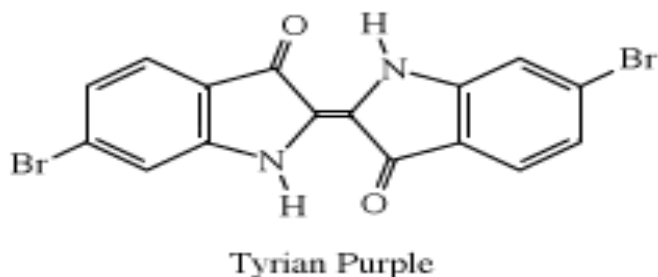
Peu utilisés en tant que teinture, leur faculté de marqueurs lors d'accident maritime ou de traceurs d'écoulement pour des rivières souterraines est malgré tout bien établie.



**Figure 5:** les colorants xanthines

### II.2.3.6-Les colorants indigoïdes :

Les colorants indigoïdes tirent leur nom de leur provenance de l'indigo. De ce fait, les homologues choisis, à savoir le bleu indigo soufré, sélénié et oxygéné, entraînent des effets hypochromes significatifs avec des teintes pouvant varier de l'orange au turquoise.

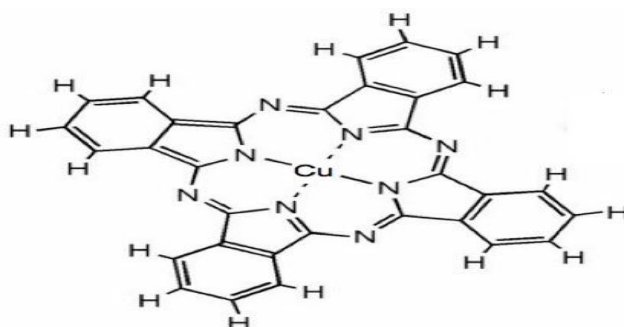


**Figure 6:** les colorants indigoïdes

Les teintures indigoïdes sont employées comme colorants dans l'industrie textile, comme ingrédients dans les produits pharmaceutiques et la confiserie, ainsi que pour des applications en diagnostic médical.

### II.2.3.7-Les phtalocyanines :

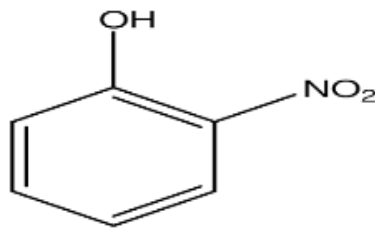
Ils ont une structure complexe basée sur l'atome central de cuivre. Les colorants de ce groupe sont obtenus par réaction du dicyanobenzène en présence d'un halogénure métallique (Cu, Ni, Co, Pt, etc....).



**Figure 7:** les phtalocyanines

### II.2.3.8-Les colorants nitrés et nitrosés :

Cette classe de colorants est très restreinte en termes de quantité et plutôt ancienne. Ils sont toujours en cours d'utilisation, grâce à leur coût abordable dû à leur structure moléculaire simple qui se caractérise par la présence d'un groupe nitro (-NO<sub>2</sub>) en position ortho d'un groupe donneur d'électrons (hydroxyle ou groupes aminés).



**Figure 8:** les colorants nitrés et nitrosés

### II.3-Les colorants utilisés dans le textile :

Nous identifions principalement :

- Les teintures avec mordant
- Les teintures acides
- Les teintures directes (aussi appelées teintures substantives)
- Les teintures cationiques (ou basiques)
- Les colorants azoïques qui ne se dissolvent pas [24].

### II.4-Application des Colorants :

Les colorants ont de nombreuses utilisations dans divers domaines, dont voici quelques applications cruciales :

- Coloration et impression sur tous types de fibres et tissus.
- Coloration du bain de filage des fibres synthétiques.
- Coloration du cuir et des fourrures.
- Coloration du papier et du parchemin.
- Coloration des caoutchoucs, des feuilles et des matériaux plastiques.
- Teintes pour toutes les méthodes de peinture.
- Élaboration de couleurs à base de chaux pour des pré-colorations et revêtements sur édifices.

## **Partie I : partie bibliographique**

---

- Teintures pour l'impression des papiers peints.
- Fabrication des encres.
- Teintures des produits alimentaires.
- Colorants destinés aux applications médicales et cosmétiques. [25]

### **II.5-Toxicité des colorants :**

Les colorants rejetées dans les rivières par les industries textiles, sont chargées en matières organiques toxiques, et peuvent affectées la croissance des espèces animales, végétales et des microorganismes vivants dans ces eaux. Cette nuisance, pourrait être en relation avec la diminution de l'oxygène dissout dans ces milieux. Aussi, leur biodégradabilité est minime voire inexistante, cela est dû à leur poids moléculaire élevé et à leurs structures complexes, qui attribue à ces composés un caractère dangereux plus ou moins élevé. Ces caractéristiques leurs permettent de persister longtemps dans ces milieux, produisant ainsi des troubles importants dans les différents dispositifs naturels existants dans la flore (l'auto épuration des cours d'eau, l'arrêt de la croissance des végétaux aquatiques...) et dans la faune (extinction d'une certaine espèce de poissons et de microorganismes...). Dans ces conditions la dose létale (DL50) reste le paramètre le plus efficace pour estimer les conséquences causées par ces décharges. En conséquence, une DL50 signifie la disparition de 50% d'espèces animales testés en expérimentation.

Les données bibliographiques révèlent que :

- L'inhibition des algues est à 35% et leur stimulation est à 65% causé par les rejets des industries textiles.
- Pour une concentration minimale de 1 mg/l et 20 mg/l, la fuchsine empêche la croissance des algues et des petits crustacés.
- Le bleu de méthylène est nocif pour les algues et les petits crustacés à partir des concentrations respectives de 0,1 mg/l et 2 mg/l.
- Les colorants basiques (cationiques) sont très toxiques et résistent à l'oxydation. A titre d'exemple le sandocryl orange est très nocif pour les microorganismes.

### III- L'adsorption :

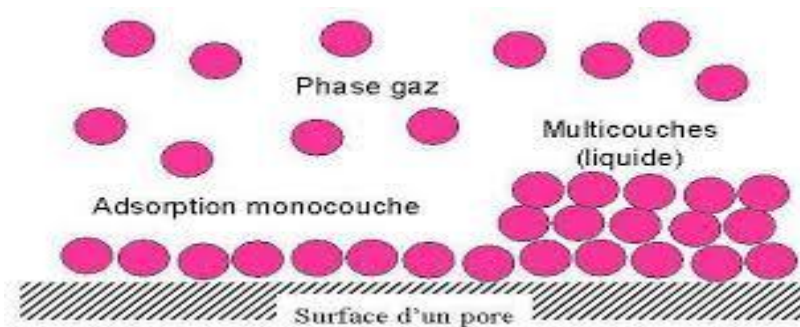
#### III.1-Définition et description générale de l'adsorption :

L'adsorption est un processus d'interface (un phénomène physique où les molécules se fixent à la surface d'un solide) qui peut se produire entre un solide et un gaz, ou entre un solide et un liquide. Ce phénomène est universel pour toutes les surfaces.

À l'interface, les forces d'attraction intermoléculaires ne sont pas équilibrées dans toutes les directions, ce qui laisse place à des forces résiduelles orientées vers l'extérieur. Ces forces symbolisent une énergie de surface par unité de mesure, similaire à la tension de surface des liquides. Lorsque des particules en mouvement (comme un gaz ou un soluté) se fixent à la surface, on parle d'adsorption ; c'est ainsi que ces forces sont neutralisées. Cette adsorption se produit de manière spontanée et entraîne une réduction de l'énergie libre du système, ce qui en fait un phénomène toujours exothermique.

L'analyse des équilibres d'adsorption offre la possibilité de déterminer le niveau maximal de séparation qui pourrait être réalisé sous des conditions thermodynamiques spécifiques.

L'étude cinétique d'adsorption examine la rapidité avec laquelle on atteint l'état d'équilibre, ce qui est influencé par la vitesse à laquelle les composants du mélange à séparer se dispersent dans l'adsorbant et le fluide [26].



**Figure 9:** schéma simplifié de phénomène d'adsorption

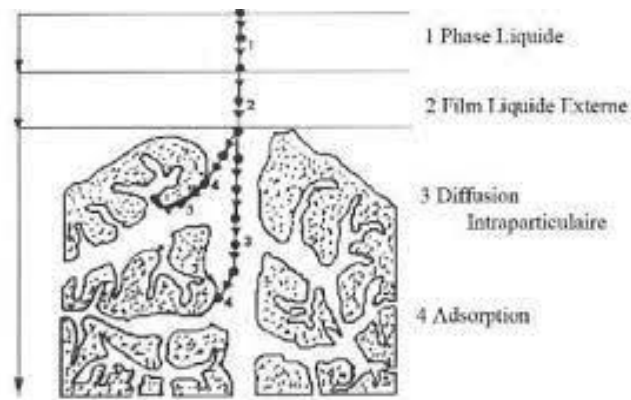
#### III.2-Mécanisme d'adsorption

L'adsorption peut être divisée en différentes phases :

- Phase 1 : L'adsorbât se propage de la phase liquide externe vers celle qui est en proximité de la surface de l'adsorbant.

## Partie I : partie bibliographique

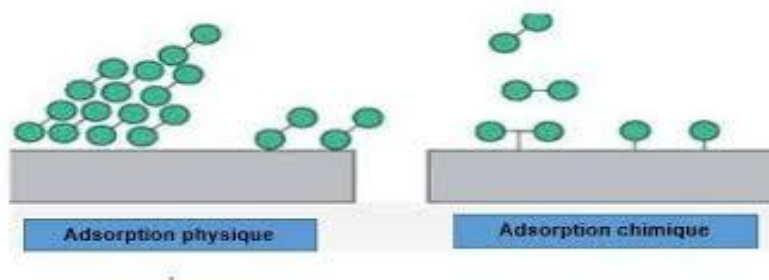
- Étape 2 : Le soluté est acheminé à travers la pellicule liquide vers la surface des grains (diffusion hors-granulaire de la substance).
- Phase 3 : Le contenu est déplacé de la structure poreuse de la surface externe des graines vers les lieux actifs (transfert de matière intra-granulaire).
- Etape 4 : Lorsqu'il y a interaction entre les molécules de matière adsorbée et les sites actifs, ces dernières s'adsorbent et perdent leur mobilité.



**Figure 10:** trajet d'un soluté lors de son adsorption sur un matériau microporeux [27].

### III.3-Types d'adsorption :

On distingue deux types d'adsorption adsorption physique (physisorption) et adsorption chimique (chimisorption).



**Figure 11:** les types d'adsorption

### **III.3.1-L'adsorption physique (physisorption) :**

L'adsorption physique ou physisorption est un phénomène qui se caractérise par des énergies plutôt modestes (interaction de Van Der Waals) entre le matériau solide et le substrat.

Il s'agit également d'un processus réversible et aucune altération de la structure de la molécule adsorbée n'en découle. Ce phénomène a lieu à des températures basses et pour des énergies ne dépassant pas 10 Kcal/mole. Toutefois, Matson et Mark privilégient l'expression d'adsorption non spécifique, due aux forces de Van Der Waals (attraction), qui se manifestent principalement entre la surface carbonée du support et le soluté [28].

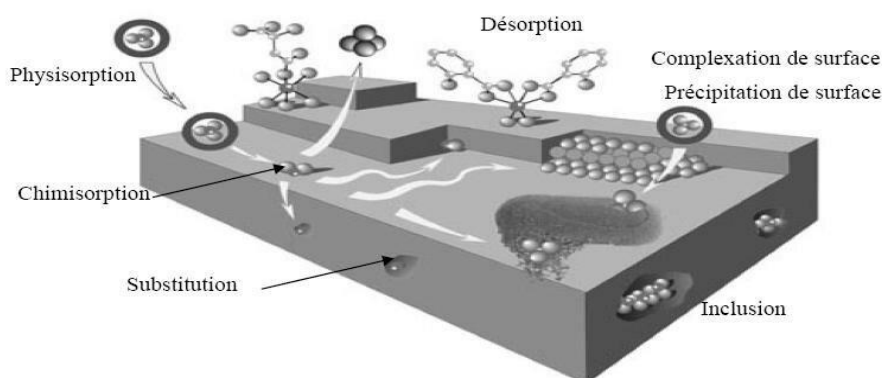
### **III.3.2-L'adsorption chimique (chimisorption):**

La chimisorption, aussi appelée adsorption chimique, est le résultat de l'établissement d'une liaison chimique entre l'adsorbant et le substrat. Il peut s'agir d'une liaison covalente ou ionique. Comparée à l'adsorption physique, elle implique des énergies d'adsorption plus importantes, avoisinant les 100 Kcal/mole. Ce processus se déroule à des températures élevées et se distingue par son caractère irréversible. À l'instar de la physisorption, Matson et al privilégient l'expression d'adsorption spécifique pour décrire le phénomène qui découle de l'existence de groupements fonctionnels oxygénés situés aux bords de la totalité du réseau cristallin.

Dans ce contexte, ces éléments peuvent déclencher l'interaction entre différentes molécules organiques et la surface du matériau (charbon actif), menant finalement à la création de complexes.

Toutefois, il n'est pas toujours simple de faire la différence entre les deux formes d'adsorption. Effectivement, les énergies impliquées dans les physisorptions robustes se rapprochent de celles qui sont à l'œuvre dans les chimisorptions légères. De plus, il est à noter que le « charbon actif » est le matériau adsorbant le plus mentionné et utilisé. Nous allons tenter de détailler cette structure dans les sections suivantes [28].

## Partie I : partie bibliographique



**Figure 12:** principales interactions entre un atome ou une molécule et un solide à l'interface solide/ liquide [29]

**Tableau 1:** principales différences entre l'adsorption physique et l'adsorption chimique

<i>Propriétés</i>	<i>Adsorption physique</i>	<i>Adsorption chimique</i>
<b>Energie d'adsorption</b>	5 à 10 Kcal/mole	20 à 100 Kcal/mole
<b>Température de processus</b>	Inférieure à la température d'ébullition de l'adsorbat	Elevée
<b>Nature de liaison</b>	Physique (Van der Waals)	Chimique
<b>Désorption</b>	Plus ou moins parfaite	Difficile
<b>Energie d'activation</b>	Non appréciable	Peut être mise en jeu
<b>Cinétique</b>	Très rapide	Lente
<b>Etat de surface</b>	Formation de multicouches	Conduit tout ou plus à Une monocouche

### III.3-La chitine:

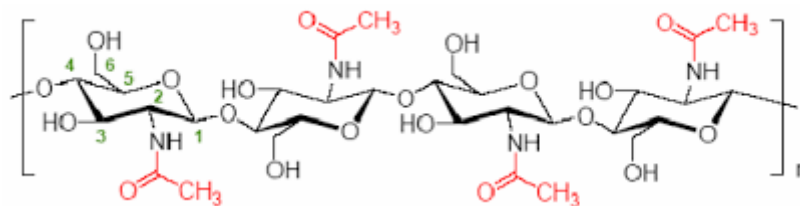
#### III.3.1-définition :

La chitine est un biopolymère biodégradable et biorésorbable ; deux propriétés primordiales à notre époque où la protection de l'environnement est devenue une préoccupation de presque tout le monde. De plus, la chitine est non toxique, biocompatible et renouvelable.

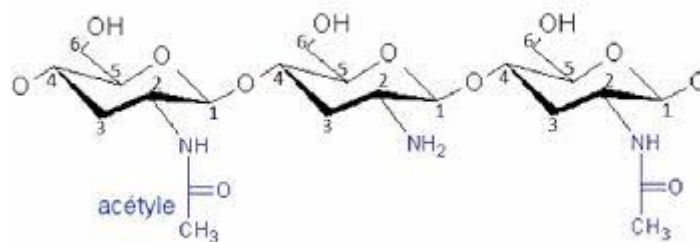
Elle est largement représentée dans le règne animal et forme le squelette polysaccharidique des arthropodes, annélides, mollusques et cœlentérés.

## Partie I : partie bibliographique

La chitine est un polysaccharide linéaire constitué d'unités de N-acétyl-D-glucosamine connectées par une liaison  $\beta$ -(1-4) ou 2-acétamido-2-deoxy- $\beta$ -D-glucopiranosose. Il est important de souligner que la formule chimique de la cellulose est très similaire à celle de la chitine, le groupe C(2) hydroxyle étant substitué par les groupes d'acétamide. Roberts établit un lien entre la ressemblance de la structure de la chitine et celle de la cellulose, suggérant l'existence d'une fonction analogue ayant la structure représentée ci-dessous (figure 7) [30].



**Figure 13:** structure de la chitine



**Figure 14:** représentation générale de la chitine comme copolymère de glucosamine et N-acétylglucosamine

### III.3.2-Structure cristalline de la chitine :

La chitine, dotée de groupements acétamide, possède des propriétés biologiques comme la biodégradabilité et la biocompatibilité, ce qui en fait un matériau fonctionnel d'importance [31]. La stabilité structurelle de la chitine est élevée en raison de l'existence de liaisons hydrogène puissantes, tant intramoléculaires qu'intermoléculaires (Figure 8). La chitine se caractérise notamment par son niveau d'acétylation et sa structure cristalline. Elle existe sous trois formes cristallines,  $\alpha$ ,  $\beta$  et  $\gamma$  (Figure 9), qui varient en fonction de l'arrangement de la chaîne polysaccharidique et de la configuration des liaisons hydrogène [30,31].

$\alpha$ -chitine : c'est la forme la plus stable et la plus présente en grande quantité. On la retrouve chez les crustacés et les champignons. Elle se caractérise par des chaînes antiparallèles formant une structure cristalline régulière. Les liaisons hydrogène entre les molécules donnent

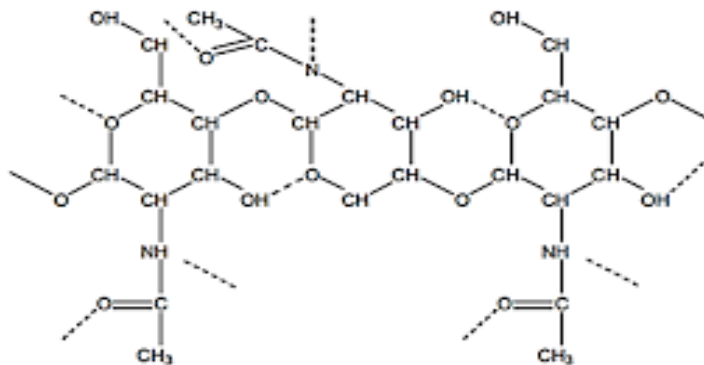
## Partie I : partie bibliographique

---

au polymère une solide résistance face aux solvants et aux solutions aqueuses. Toutefois, l'emploi de solvants particuliers comme le N,N-diméthylacétamide (DMAc) qui renferme 5-10 % de LiCl, ainsi que des solutions à base de fluorine hexafluoroacétone et hexafluoroisopropanol facilite la dissolution de l' $\alpha$ -chitine. Cette capacité à se dissoudre est également liée à la provenance du polymère [32].

La  $\beta$ -chitine : les macromolécules se disposent en une configuration parallèle qui favorise des liaisons intermoléculaires de faible énergie. Ici, les groupes N-acétyl agissent en tant qu'espaces, favorisant l'accès aux molécules d'eau pour l'hydratation et la création de gel [33]. Contrairement à l' $\alpha$ -chitine, la  $\beta$ -chitine présente une forte affinité pour les solvants organiques et l'eau [34]. On la retrouve principalement dans les épines de diatomées et l'endosquelette de la seiche.

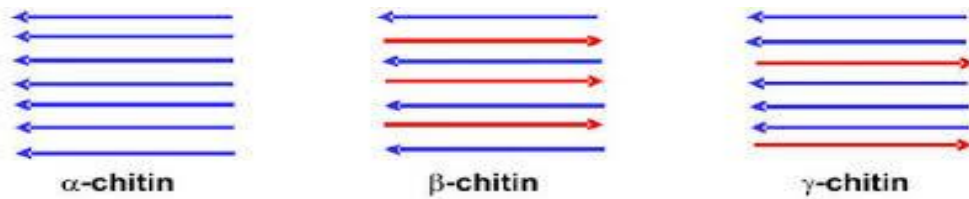
On a repéré la  $\gamma$ -chitine dans les cocons d'insectes [35]. Elle se compose essentiellement de deux couches parallèles et d'une couche en configuration antiparallèle. Sa force et sa résistance sont plus proches du type  $\beta$  ; les groupes N-acétyl jouant le même rôle dans ces deux arrangements [36, 37].



**Figure 15:** les liaisons hydrogène en pointillés dans la structure de la chitine

## Partie I : partie bibliographique

---



**Figure 16:** schémas simplifiés des trois formes cristallines de la chitine

### III.3.3-Source de la chitine :

Dans le monde animal, la chitine constitue un composant structurel essentiel des téguments de divers invertébrés. Elle n'existe qu'en tant que complexes associés à des protéines et des minéraux.

On la trouve surtout dans les coquilles de mollusques, les cuticules des insectes et la carapace des crustacés.

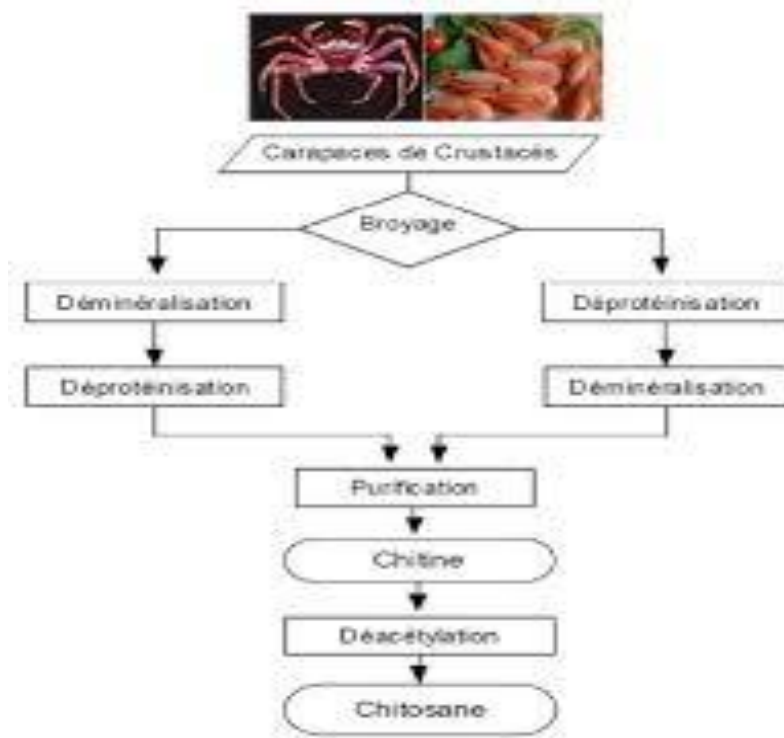
Dans le monde végétal, la chitine est présente dans la paroi cellulaire de la majorité des champignons ainsi que dans certaines algues chlorophycées. Outre sa fonction de préservation de la rigidité cellulaire, elle joue un rôle dans la régulation de la pression osmotique. On trouve également de la chitine dans certaines levures et bactéries [38].

Malgré l'abondance de sources potentielles de chitine, sa production actuelle provient principalement des coquilles de crevettes.

### III.3.4-Procédé d'extraction de la chitine :

La purification de la matière première est essentielle pour la production de chitine. On se concentre surtout sur l'élimination du carbonate de calcium, des protéines et des pigments.

L'extraction chimique implique un processus de déminéralisation par traitement acide, une déprotéinisation via un traitement alcalin et une décoloration à l'aide d'un agent oxydant pour supprimer les pigments. Durant ces deux réactions, les autres composés en moindre quantité sont également supprimés. Généralement, la déminéralisation se fait avant la déprotéinisation, car le contraire aurait une incidence sur le DP et le DA du polymère [39]. À chaque phase, le produit est soigneusement rincé à l'eau distillée. La production de la chitine et du chitosane est représentée dans la figure 10.



**Figure 17 :** procédé d'extraction de la chitine et du chitosane

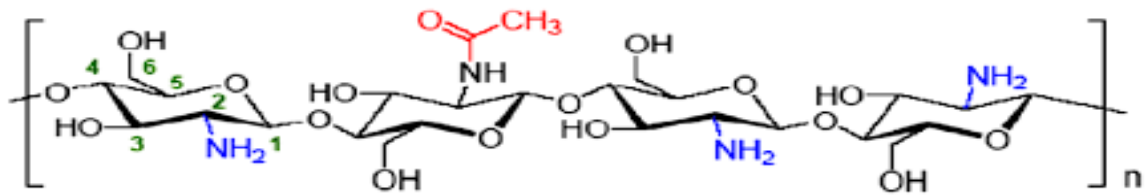
### III.4-Le chitosane

#### III.4.1-définition :

Le chitosane est un copolymère naturel, non dangereux, biodégradable, à structure linéaire et flexible, constitué de 2-acétamido-2-déoxy- $\beta$ -D-glucopyranose et de 2-amino-2-déoxy- $\beta$ -D-glucopyranose. Il possède des caractéristiques antibactériennes. C'est un polysaccharide à l'instar de la cellulose. Cette macromolécule est produite par la N-désacétylation de l'un des polymères naturels les plus répandus, la chitine, qui est extraite des coquilles de crustacés comme les crabes et les crevettes [40].

On le trouve en différentes formes : en solutions, en granulés, en poudre ou en fibres. Sur le marché, le chitosane proposé possède un DDA variant de 70 à 90 % [41].

## Partie I : partie bibliographique

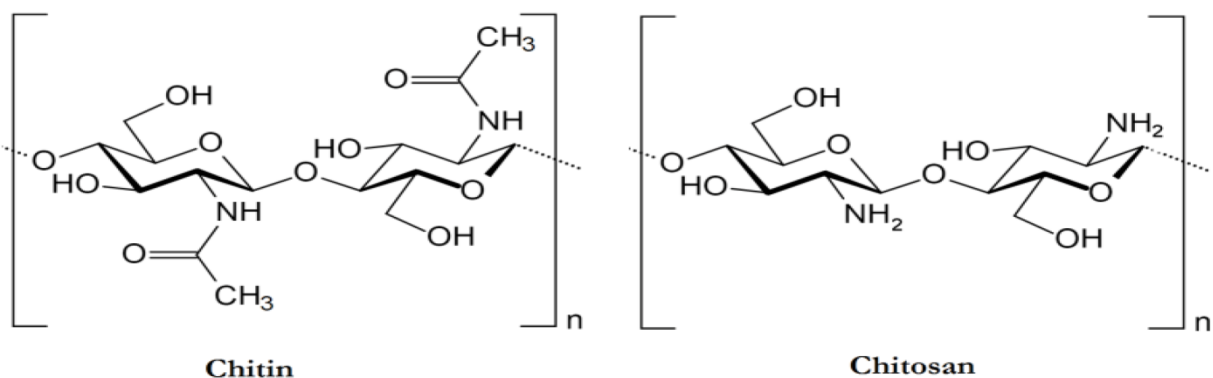


**Figure 18:** la structure du chitosane

### III.4.2-Structure du chitosane :

Le chitosane entièrement désacétylé est un polysaccharide régulier constitué d'unités de glucosamine reliées par des liaisons glycosidiques  $\beta$  (1-4). La différence entre la structure du chitosane et celle de la cellulose réside dans l'ajout d'un groupe amine en position deux (C2) au lieu d'une fonction alcool (-OH) que l'on trouve dans la cellulose. Cette caractéristique structurelle donne au chitosane une plus grande variabilité concernant les groupes fonctionnels [42]. L'existence de trois groupes fonctionnels nucléophiles différents par unité engendre une flexibilité potentielle des transformations chimiques régiosélectives. Dans l'ordre de leur réactivité nucléophile croissante, chaque unité de chitosane présente les groupes fonctionnels suivants :

Une fonction alcool secondaire sur le troisième carbone (C3), une fonction alcool primaire sur le sixième carbone (C6) et une fonction amine primaire sur le deuxième carbone (C2). Ce composé, en raison de ses groupements amines libres, présente des caractéristiques très intéressantes. Dans une solution acide faible, le chitosane a une charge positive tandis que la majorité des polysaccharides présentent une charge négative [43].



**Figure 19:** structure chimique de la chitine et du chitosane

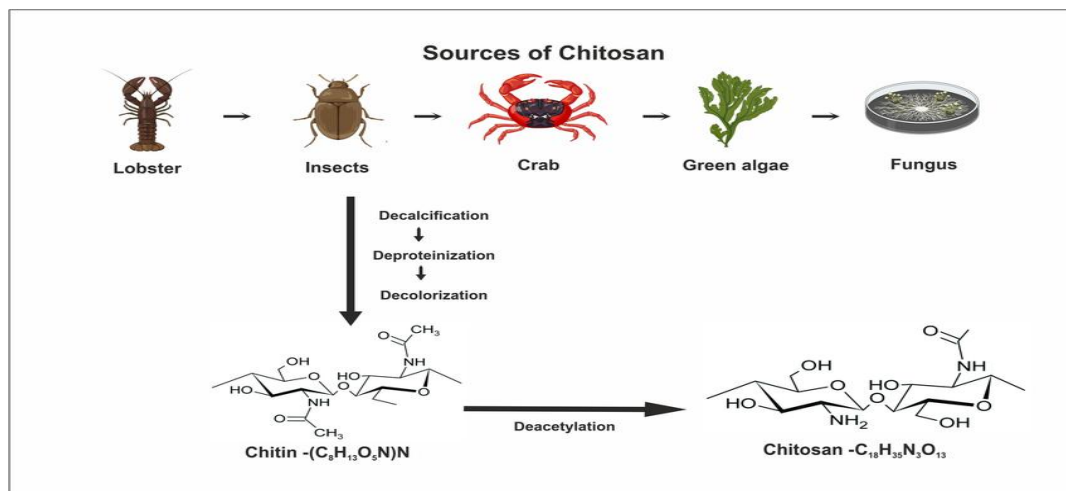
## Partie I : partie bibliographique

### III.4.3- Extraction du chitosane :

La production commerciale de chitosane utilise la chitine provenant des crevettes et des crabes, les deux sources naturelles les plus abondantes. La chitine est présente dans les co-produits sous forme de complexe chitine-protéines- minéraux (principalement du carbonate de calcium). Elle est extraite en trois étapes :

- Déminéralisation par hydrolyse acide pour éliminer les minéraux
- déprotéinisation par hydrolyse basique pour éliminer les protéines
- Décoloration (ou blanchiment) : étape facultative pour éliminer les pigments Entre ces différentes étapes, des opérations de lavage sont nécessaires.

La chitine peut ensuite être désacétylée pour obtenir le chitosane, La désacétylation signifie l'hydrolyse des groupements acétyles présents dans la Chitine pour avoir des groupes amines. D'habitude, la chitine est partiellement désacétylée par N désacétylation alcalines en utilisant des processus industriels pour produire différents polymères.



**Figure 20:** sources de chitosane

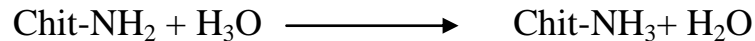
### III.4.4-Propriétés Principales du chitosane :

Les caractéristiques du chitosane dépendent essentiellement de la masse molaire, qui est souvent très importante comme pour tous les polysaccharides, et du taux de désacétylation (DDA), défini comme le pourcentage d'unités 2-acétamido-2-déoxy-gluco-pyranose de la chitine initiale qui se transforment en unités 2-amino-2-déoxy-gluco-pyranose après désacétylation. La valeur du DDA, qui peut varier significativement selon le mode de fabrication, a une grande influence sur la solubilité du chitosane.

## **Partie I : partie bibliographique**

---

Effectivement, le chitosane ne se dissout qu'en milieu acide par la protonation des groupes amine qui se trouvent sur la macromolécule. L'équilibre ci-après illustre la condition d'ionisation du polyélectrolyte en solution :



On estime que le pKa du chitosane est autour de 6,3. Donc, quand le DDA est bas, c'est-à-dire lorsque les groupements amine sont en nombre réduit, la solubilité du chitosane est faible. On a tendance à utiliser du chitosane ayant un DDA supérieur à 70 % pour obtenir une portion importante soluble. Ainsi, la structure des chaînes polymériques en solution et par conséquent la viscosité de ces solutions sont influencées par le pH et le DDA. En effet, ces deux facteurs définissent la densité de charge présente sur la chaîne polymère. Quand la température est haute, les chaînes polymères s'étendent considérablement, ce qui entraîne une viscosité élevée.

### **III.4.5-Applications du chitosane :**

On exploite les diverses propriétés spécifiques de la chitine et du chitosane dans de nombreuses applications importantes. C'est pourquoi leur application dans des domaines économiquement dynamiques tels que les industries de l'alimentation, des cosmétiques, de la pharmacie ou de l'agriculture, entre autres, a donné lieu à un grand nombre de dépôts de brevets.

#### **1. Domaine biomédical:**

Le chitosane présente une biocompatibilité qui se manifeste par son absence d'antigénicité, de toxicité et sa compatibilité avec le sang. Sa non-toxicité est démontrée par une dose maximale pouvant être administrée oralement de 17 g/kg.jour. L'hémocompatibilité démontre une nature antithrombogène tout en agissant comme un hémostatique local. Il trouve donc son utilité dans le revêtement d'objets qui seront en contact avec le sang, tels que les prothèses vasculaires ou les valves cardiaques. Son activité biostimulante est principalement à l'origine de sa bioactivité, qui lui confère également la capacité d'accélérer le processus de cicatrisation [44]. La chitine et le chitosane entraînent une diminution de la production de collagène indésirable, une croissance du nombre d'histiocytes, ainsi qu'une stimulation des fibroblastes qui génèrent alors une profusion de collagène-3, essentiel dans les processus de cicatrisation.

## Partie I : partie bibliographique

On utilise ces caractéristiques de cicatrisation pour produire des sutures ou une peau synthétique. Cette peau dotée de propriétés antidouleur favorise une guérison des brûlures et une régénération de l'épiderme nettement plus rapide et moins douloureuse que les produits couramment utilisés. Il n'y a pas de risque de rejet avec cette peau.



**Figure 21:** application du chitosane dans le domaine biomédical

### 2-Domaine agroalimentaire :

Dans l'industrie alimentaire, la chitine partiellement désacétylée est employée pour réduire l'acidité des extraits de café et des jus de fruits ou légumes, mais aussi pour conserver les aliments grâce à sa propriété d'immobiliser les cellules microbiennes ou fongiques. Le chitosane, doté de capacités coagulantes, contribue également à la séparation des particules colloïdales et dispersées dans les déchets alimentaires industriels.

La chitine et le chitosane peuvent servir d'agents de fixation pour des cellules microbiennes, animales ou végétales, voire pour des enzymes. Ils sont notamment utilisés pour la clarification des jus de fruits ou l'élimination des composés phénoliques dans les vins.

Domaine de l'agriculture :

Dans le domaine de l'agriculture, la chitine et le chitosane ont la capacité d'activer chez les végétaux des processus de défense contre les infections et les attaques parasitaires à des quantités minimales (de l'ordre de quelques milligrammes par mètre cube d'eau) [45]. Le chitosane est donc utilisé comme enrobage pour les graines de céréales. Il stimule

## **Partie I : partie bibliographique**

---

simultanément le développement du système racinaire et provoque l'épaississement de la tige. Ces effets physiologiques ne peuvent que renforcer la résistance de la plante durant la germination et favoriser des rendements supérieurs lors de la récolte. De plus, le chitosane possède une action fongicide intrinsèque.

Il a été rapporté que le chitosane fonctionne comme un stimulateur, car de nombreuses plantes ont des enzymes chitinolytiques qui les soutiennent dans leur défense contre les envahisseurs pathogènes, comme les champignons. L'ajout de chitosane à l'environnement de croissance favorise la production d'enzymes chitinolytiques par les plantes, ce qui les rend plus aptes à résister à leurs prédateurs naturels [46, 47].

### **3-Domaine des matériaux :**

Durant une période considérable, le chitosane en tant que matériau a été employé comme matière plastique pour la fabrication de films antimicrobiens destinés au secteur alimentaire, c'est-à-dire l'emballage préservant des légumes frais, des fruits ou de la viande [48].

Plusieurs efforts ont également été déployés pour créer de nouveaux matériaux biofonctionnels, comme le greffage de dérivés esters du polyéthylène glycol (PEG) [49] ou la phosphométhylation [50,51].

Dernièrement, des applications récentes ont suscité davantage d'intérêt, dont l'emploi du chitosane en tant que support de catalyseur retient spécifiquement notre attention. Effectivement, cette application intègre diverses méthodes avancées, comme la lyophilisation [52] ou l'emploi de CO<sub>2</sub> supercritique (scCO<sub>2</sub>) [53], pour améliorer les potentialités d'échange de surface et/ou le recours à des liquides ioniques [53,54]. Il participe donc à l'application des principes de la chimie verte en réduisant la quantité de produit requise - ratios catalytiques et non stœchiométriques, et le recours à des matières premières renouvelables - [45,46].

### **4-Domaine des cosmétiques :**

Dans l'industrie cosmétique, les caractéristiques filmogènes et cationiques du chitosane sont utilisées dans une variété de crèmes ou lotions destinées aux soins capillaires ou cutanés. De plus en plus de produits contenant du chitosane font leur apparition sur le marché. On peut mentionner les pommades ou crèmes antifongiques et antidermatoses, les crèmes

## Partie I : partie bibliographique

amincissantes contenant du chitosane en tant qu'agent de transport, les crèmes revitalisantes et raffermissantes, ou tout simplement les crèmes hydratantes. Le chitosane est désormais employé dans le domaine de l'encapsulation. [55,56]



**Figure 22:** application du chitosane dans le domaine de cosmétique

### 5-Domaine des traitements des eaux :

Grâce à sa capacité de chélation, le chitosane a la faculté d'éliminer les métaux lourds, même en présence de quantités extrêmement infimes. Ses remarquables capacités de floculation (Figure 16), tant pour les substances minérales et organiques que pour les microorganismes, font de lui un matériau privilégié pour l'épuration des eaux usées. On peut l'utiliser en tant que solide ou en solution pour complexer les ions métalliques. L'efficacité de cette application, qui repose sur la nature cationique du polymère, fluctue en fonction de la concentration en polymère et du pH environnemental.

On utilise souvent diverses méthodes pour le traitement des eaux, comme l'adsorption, la floculation ou les traitements biologiques. Le chitosane, un composé écologique et souvent bon marché, peut être employé pour des applications d'adsorption [55,54] et de floculation [57]. Sa grande disponibilité et son coût relativement bas en font une option privilégiée dans certains scénarios. Le chitosane a démontré une efficacité particulière pour la floculation des effluents biologiques secondaires issus du cartonage [57]. À regrettable, les applications concrètes dans le secteur industriel demeurent rares, étant donné que les agents floculants concurrents coûtent moins cher.

## Partie I : partie bibliographique

---

Effectivement, bien que le chitosane offre des caractéristiques supérieures, les produits traditionnels à moindre coût suffisent pour se conformer aux normes réglementaires actuelles.



**Figure 23:** chitine et chitosane

# **Partie II :**

# **Expérimentale**

## Partie II : partie expérimentale

---

### I. Produits et matériels :

#### 1. matériels :

Le matériel utilisé dans ce travail est :

- Un pH mètre dont l'utilité est nécessaire du fait que le caractère acido basique est un facteur déterminant dans la fixation des colorants sur le dépolluants.
- Un agitateur qui permet l'homogénéisation des solutions.
- une centrifugeuse qui permet la séparation des deux phases (solide et liquide)
- Spectrophotomètre
- Béche
- Eprouvette
- Erlenmeyer
- Entonnoirs
- Papierfiltre
- Buchneret
- burette.

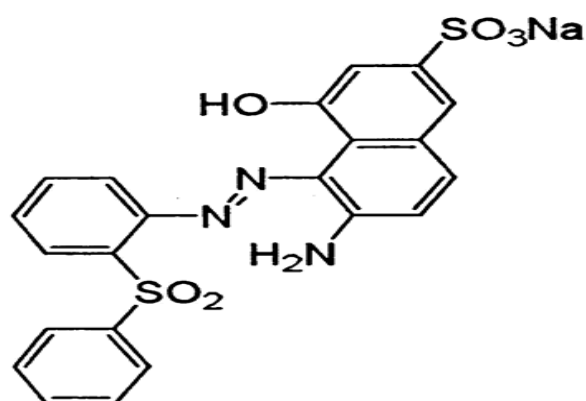
#### 2. les produits utilisés :

Les produits qui sont utilisés pour l'étude de la partie expérimentale sont : Le chitosane commercial fourni par Sigma-Aldrich comme support naturel pour l'adsorption des colorants ; le chitine commercial fourni par Sigma-Aldrich comme support naturel pour l'adsorption des colorants; L'hydroxyde de sodium comme un base ; l'acide chlorhydrique concentré. Le colorant étudié dans ce travail est le rouge télon lumière.

#### 2. le colorant :

Nous nous sommes intéressés à éliminer : le rouge télon lumière. Ce dernier est un colorant acide sous forme solide appartenant à la catégorie des colorants soluble dans l'eau et destiné à la teinture des textiles. Sa formule moléculaire est de  $C_{22}H_{16}N_3NaO_6S_2$ , sa masse moléculaire est 505,4 g/l, sa solubilité dans l'eau : 20,00 g/l à 20 °C, son nom chimique est le suivant : sel acide 2-naphthalene sulfonique,-6-amino 4-hydroxy -5((2-phényl sulfonyl) phényl) azo de sodium.

## Partie II : partie expérimentale

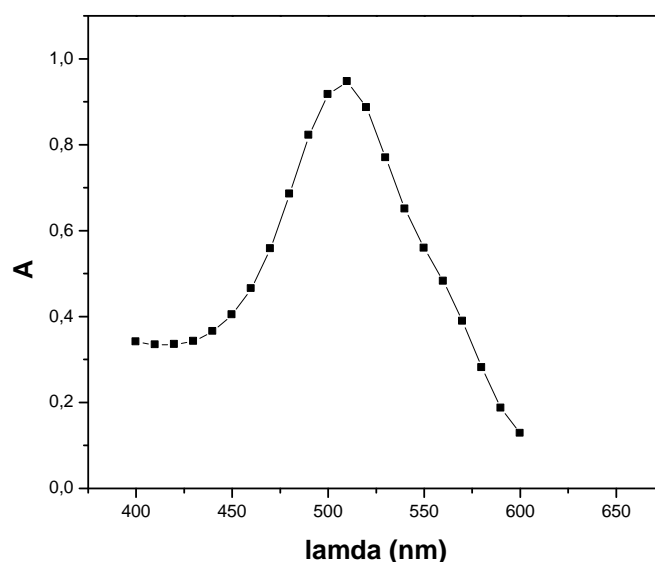


**Figure 24:** formule développée du rouge télon lumière

La première approche consiste en la détermination des propriétés spectrophotométriques UV visible de ce colorant c'est-à-dire la détermination de  $\lambda_{\max}$  pour laquelle l'absorbance est maximale.

Et la vérification de la loi de Beer-Lambert dans un domaine de concentration.

Pour déterminer  $\lambda_{\max}$  du colorant utilisé nous avons tracé l'absorbance en fonction de lambda, les résultats obtenus sont représentés sur la figure 18.



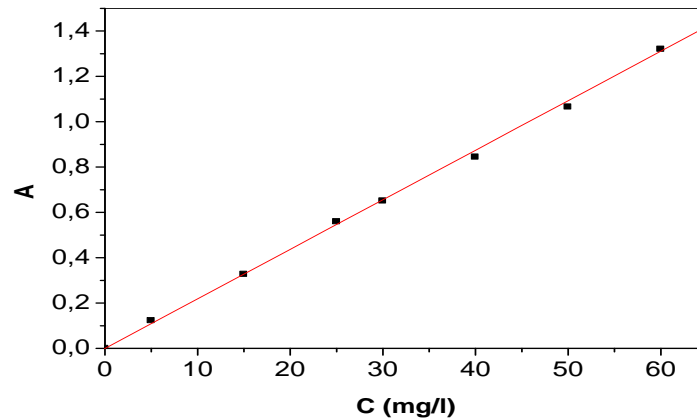
**Figure 25:** détermination de  $\lambda_{\max}$  du rouge télon lumière

Pour vérifier la loi de Beer-Lambert, nous avons tracé la courbe d'étalonnage pour le colorant utilisé afin de déterminer les domaines de concentration pour lesquels la loi de Beer Lambert est respectée (obtention d'une droite). ( $\lambda_{\max}=500$  nm)

## Partie II : partie expérimentale

C (mg/l)	5	10	15	20	25	30	40	50	60
A	0.83142	0.19983	0.29884	0.42534	0.55033	0.64936	0.91210	1.0434	1.252

**Tableau 2:** les valeurs d'étalonnages du rouge télon lumière



**Figure 26:** courbe d'étalonnage du rouge télon lumière

### II. les modes opératoires :

#### a) préparation des solutions de colorant :

Nous avons préparés une solution mère. On prend 250mg du colorant rouge télon lumière et on la dissous dans 1000 ml d'eau, on met le tout sous agitation pendant quelque minutes .A partir de cette solution on prépare les solutions filles.

#### b) Étude de l'influence de la concentration :

Une quantité de masse 0.025 mg de support (chitosane et chitine) est mise en contact, avec un volume V(L) 80mL de solution colorante à des concentrations variables de 20 mg/L à 200 mg/L. L'ensemble des expériences est mis sous agitation à l'aide d'un agitateur magnétique. Le filtrat est analysé par spectrophotométrie.

#### c) Étude de l'influence du pH :

Une quantité de masse m :0.025g de support (chitosane et chitine) est mise en contact dans des flacons \*/avec un volume V (L) 80 ml de solution de colorant à différents pH initial compris entre 2-4-6-8-10 ajusté avec une solution molaire HCl ou NaOH. L'ensemble des

## Partie II : partie expérimentale

---

expériences est mis sous agitation. Le filtrat est analysé par spectrophotométrie. La capacité d'adsorption à l'équilibre  $q_e$  est définie par l'équation suivante:

$$q_e = \frac{v(C_0 - C_e)}{m}$$

- $q_e$ : Quantité de colorant adsorbée à l'équilibre (en mg/g)
- $v$  : Volume de la solution (en L)
- $C_0$ : Concentration initiale du colorant (en mg/L)
- $C_e$ : Concentration à l'équilibre du colorant (en mg/L)
- $m$  : Masse de l'adsorbant (en g)

### d) Conditions pour la réalisation des cinétiques :

Une quantité de masse  $m$ : 0.1g de support (chitosane et chitine) est mise en contact, dans des béchers en verre dans une solution de colorant  $V=120$  ml à concentration initiale variable

$C_0 = 100$  mg/L et en ajoutant eau distillée jusqu'à 300 ml. L'ensemble est mis à la température

$T = 25^\circ\text{C}$  sous agitation magnétique 200 trs/min. Des prélèvements réguliers sont effectués à des intervalles connus. Le filtrat est analysé par spectrophotométrie UV-visible.

## Partie II : partie expérimentale

### III. Méthodes d'Analyses

La méthode d'analyse adoptée au cours de ce travail est la spectrophotométrie UV-visible et la spectroscopie infrarouge (IR)

#### 1. Spectroscopie d'absorption dans l'UV-Visible :

##### a. Définition :

Spectroscopie d'absorption dans l'UV-Visible est basée sur la propriété des molécules d'absorber des radiations lumineuses de longueur d'onde déterminée.

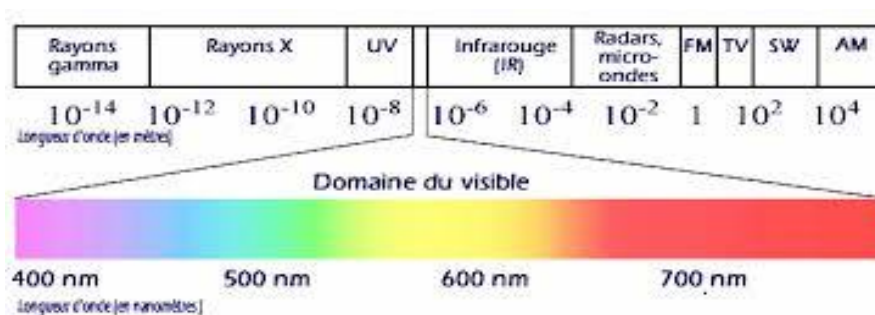


Figure 27: le spectre électromagnétique

##### b. Domaine UV-Visible :

- Dans une molécule, les transitions électroniques ont lieu dans la région de l'ultraviolet et du visible.
  - Le domaine UV-visible s'étend environ de 10 à 800 nm.
- Visible : 400 nm (indigo) -800 nm (rouge).
  - Proche-UV : 200 nm -400 nm
  - UV-lointain : 10 nm- 200 nm.

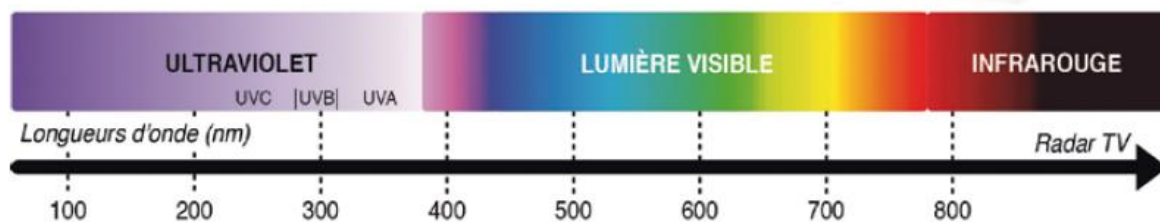


Figure 28: domaine UV-Visible

## Partie II : partie expérimentale

- Pour les appareils usuels, les domaines utiles de longueur d'onde dans les domaines UV-Visible sont :

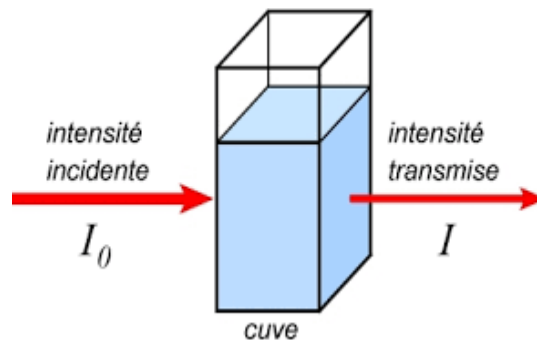
UV	Visible
$200 \text{ nm} < \lambda < 400 \text{ nm}$	$400 < \lambda < 800 \text{ nm}$

**Tableau 3:** les domaines UV-Visible

### c. La loi de Beer-Lambert :

La fraction de la lumière incidente absorbée par une substance de concentration  $C$  contenue dans une cuve de longueur  $l$  est donnée par la loi de Beer-Lambert

$$A = \log(I_0/I) = \varepsilon l C$$



$$A = \varepsilon \cdot l \cdot C$$

**A** : absorbance autrefois appelée densité optique (D.O.) (sans unité) L'absorbance  $A$  est la capacité d'une espèce chimique à absorber une lumière (comprise entre 0 et 2)

**$\varepsilon$**  : est le coefficient d'extinction molaire (coefficient d'absorption molaire); c'est une caractéristique de la substance étudiée à une longueur d'onde donnée. ( $\varepsilon$  est en  $\text{L} \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{cm}^{-1}$ ).

$\varepsilon$  est le coefficient d'absorption spécifique si  $C$  en  $\text{g/L}$  ( $\varepsilon$  est en  $\text{L} \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{cm}^{-1}$ )

**l** : est la largeur (épaisseur) de cuve en cm

**C** : est la concentration de la solution ( $\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$ )

## Partie II : partie expérimentale

---

### 2. la spectroscopie infrarouge (IR)

#### a. définition :

La structure est caractérisée à l'aide des méthodes de spectroscopie infrarouge pour identifier les groupements fonctionnels. Chaque liaison présente des vibrations spécifiques à des fréquences précisément définies.

Dans des conditions standards de température et de pression, les atomes et les groupements fonctionnels qui composent la matière sont soumis à des mouvements vibratoires. Lorsque ces éléments sont soumis à un rayonnement électromagnétique dont la fréquence se rapproche de l'une de leurs vibrations spécifiques, ils résonnent, absorbant ainsi de l'énergie provenant du faisceau incident. Il y a donc absorption d'énergie. [47]

Sous l'influence d'un rayonnement infrarouge électromagnétique, les liaisons moléculaires captent une portion de cette énergie et vibrent en effectuant divers mouvements (vibrations d'extension ou de modification). Le domaine infrarouge, qui contient les énergies de vibration des liaisons moléculaires, est segmenté en trois régions :

- Infrarouge :  $\lambda =$  de 0,8 à 2,5 mm (ou  $\nu =$  de 4000 à 12500  $\text{cm}^{-1}$ ).

- infrarouge moyen :  $\lambda =$  2,5 à 25 mm (ou  $\nu =$  400 à 4000  $\text{cm}^{-1}$ ).

Infrarouge lointain :  $\lambda =$  25 à 1000 mm (ou  $\nu =$  10 à 400  $\text{cm}^{-1}$ ).

Les analyses ont été réalisées en utilisant une spectroscopie infrarouge de marque AGILENT, modèle de référence : CARY 640.

**Partie III :**

**Résultat**

**Et**

**Discussions**

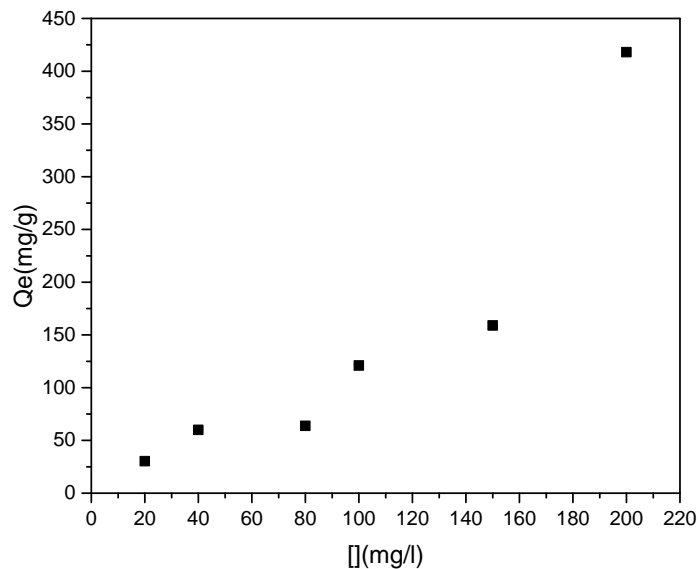
## Partie III : résultat et discussion

### 1. mesure par spectrophotométrie UV-VISIBLE :

Dans cette partie nous allons étudier l'effet des paramètres tels que : la concentration initiale, le pH et le temps de contact sur l'adsorption du colorant par le support :

chitosane/chitine.

#### a. Effet de la concentration initiale du colorant :



**Figure 29:** effet  $C_0$  chitine

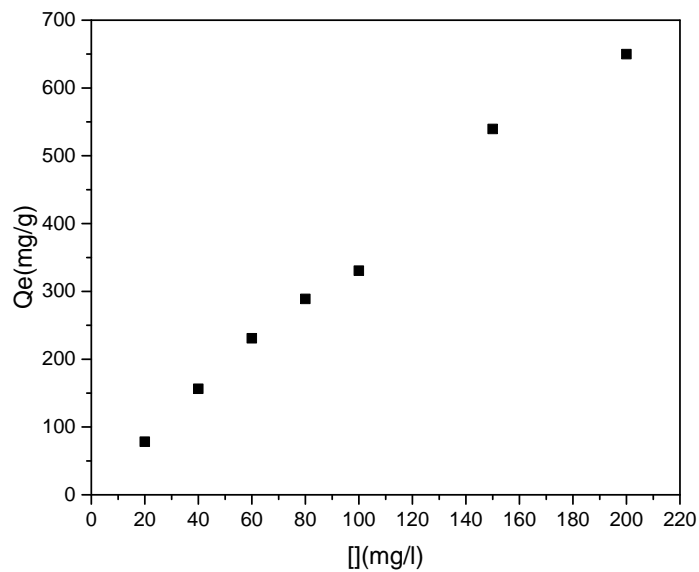
La figure 29 présente la variation de la quantité de colorant adsorbée ( $q$ , exprimé en mg/g) en fonction de la concentration initiale du colorant ( $C_0$ , exprimée en mg/L), dans le cas de la chitine.

Le diagramme indique une hausse graduelle de l'adsorption à mesure que la concentration du colorant augmente, notamment à des concentrations faibles (jusqu'à environ 100 mg/L). Cette phase d'expansion illustre la présence initiale des sites actifs sur la surface de la chitine.

Toutefois, au-delà d'une certaine concentration, la courbe se stabilise, signifiant l'obtention d'un état d'équilibre d'adsorption. Cela indique que la plupart des sites adsorbants ont été pris d'assaut et que la faculté d'adsorption de la chitine est à saturation.

## Partie III : résultat et discussion

---



**Figure 30:** effet  $C_0$  chitosane

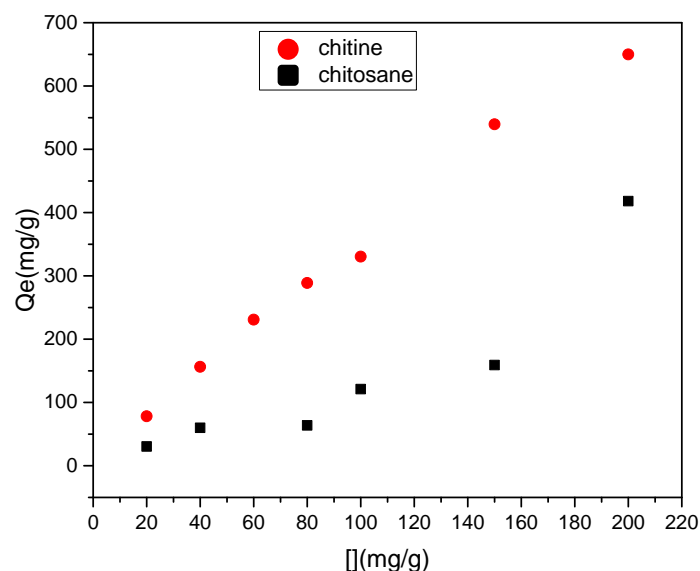
La figure 30 représente la quantité de colorant adsorbée ( $q$ , en mg/g) en fonction de la concentration initiale du colorant ( $C_0$ , en mg/L) pour le chitosane.

On observe une augmentation rapide de l'adsorption aux faibles concentrations (jusqu'à environ 100 mg/L), suivie d'un plateau indiquant un état d'équilibre.

Au-delà de cette concentration, l'adsorption devient stable, ce qui suggère que les sites actifs du matériau sont saturés.

La quantité maximale adsorbée atteint environ 928,21 mg/g, ce qui montre une efficacité élevée du chitosane jusqu'à la saturation.

## Partie III : résultat et discussion



**Figure 31:** comparaison effet de la concentration par le chitosane et la chitine

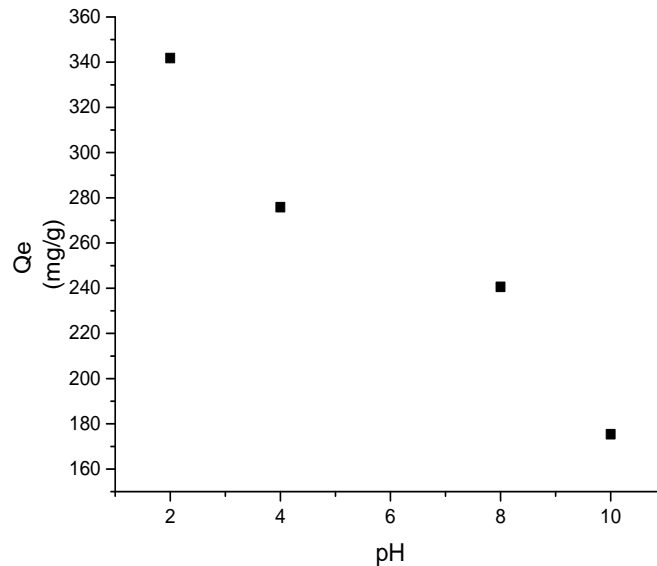
La figure 31 présente une comparaison des propriétés d'adsorption de la chitine et du chitosane face au colorant Rouge Téton lumière, selon la concentration initiale du colorant.

Le graphique démontre de manière indéniable que le pouvoir d'adsorption du chitosane est largement plus élevé que celui de la chitine pour toutes les concentrations analysées. Le chitosane montre une adsorption croissante en fonction de la concentration, dépassant largement les valeurs observées avec la chitine, ce qui indique une préférence plus marquée du chitosane pour le colorant.

Cette variation peut être due à la composition chimique du chitosane qui renferme un plus grand volume de groupes fonctionnels amines ( $-NH_2$ ) capables d'établir des interactions électrostatiques ou des liaisons hydrogène avec les molécules colorantes, par rapport à la chitine.

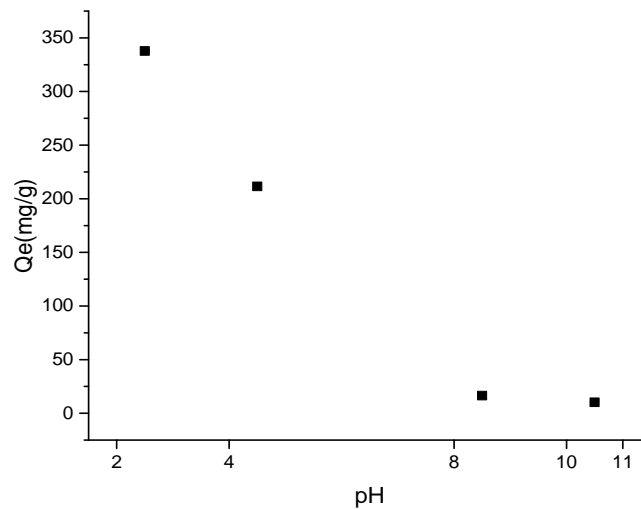
Pour conclure, il s'avère que le chitosane est un biosorbant plus performant que la chitine pour l'absorption du colorant Rouge Téton lumière dans la solution aqueuse.

### b. Effet de PH :



**Figure 32:** effet du pH initial sur l'adsorption du rouge télon lumière par le chitosane

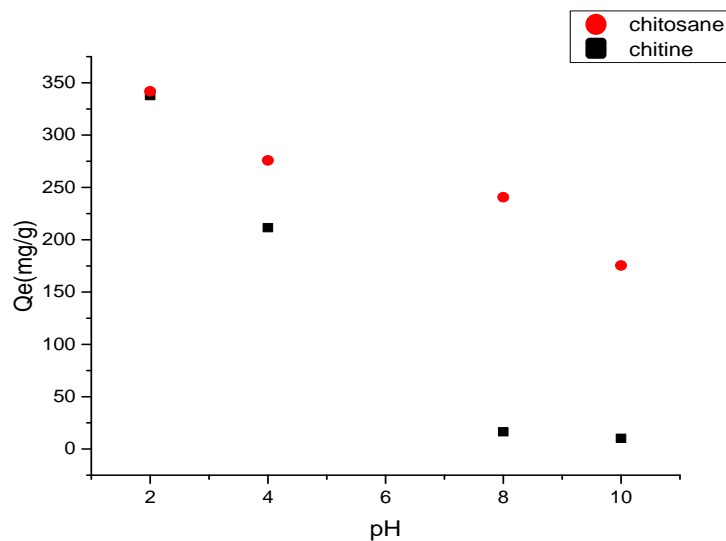
Il ressort de cette Figure que la capacité d'adsorption diminue à mesure que le pH augmente. Elle est maximale en  $\text{pH} = 2$  où la chitosane permet une adsorption maximale de 345 mg/g et le minimum est observé en  $\text{pH} 10$  où la chitosane assure une faible capacité d'adsorption de 175 mg/g. Cette diminution peut être expliquée par la protonation des groupes amines à pH acide, favorisant l'interaction avec les ions négatifs, alors qu'à pH basique, ces groupes sont déprotonés, réduisant l'affinité de la chitosane pour les ions.



**Figure 33:** effet du pH initial sur l'adsorption du rouge télon lumière par la chitine

La figure 33 illustre l'influence du pH sur la capacité d'adsorption de la chitine, exprimée en mg/g. On observe que la capacité d'adsorption est maximale à pH = 2 (environ 360 mg/g), puis elle diminue fortement avec l'augmentation du pH. À partir de pH 8 jusqu'à pH 11, la capacité d'adsorption devient presque nulle. Cette diminution peut être attribuée à la déprotonation des groupes fonctionnels de la chitine à pH basique, ce qui réduit leur interaction avec les ions en solution. À pH acide, la protonation favorise ces interactions, ce qui explique la forte capacité d'adsorption observée.

## Partie III : résultat et discussion



**Figure 34** : comparaison effet pH par le chitosane et la chitine

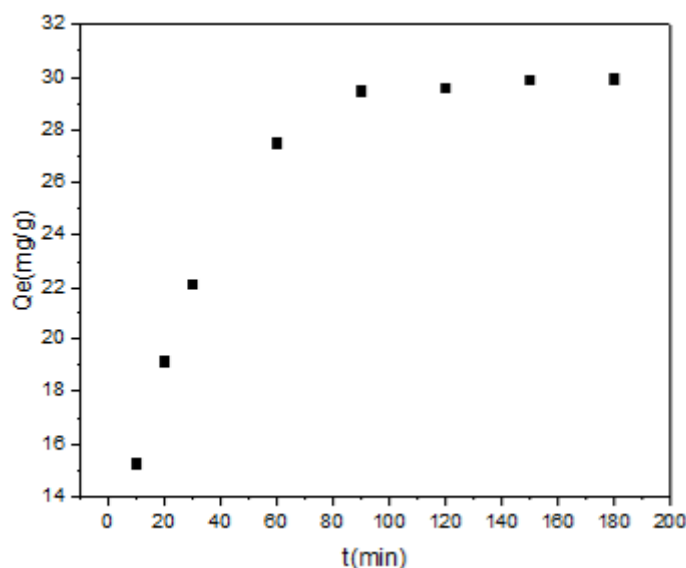
Comparaison les deux courbes effet du pH sur le chitosane et la chitine :

Les deux courbes mettent en évidence l'effet du pH sur la quantité d'adsorption de chitosane et de chitine au cours de l'évolution des pH respectif. La quantité d'adsorption est maximale pour leur meilleur pH correspondant possèdent respectif soit pH=2. Ce fait est expliqué par le fort nombre de proton permettant interaction maximale entre ion et la chaîne.

La différence majeure réside cependant dans la stabilité de l'adsorption de des pH plus élevés. Le chitosane montre une décroissance progressive de la capacité d'adsorption de la solution avec des valeurs de pH plus élevées en gardant une certaine efficacité de l'élimination du colorant pour même pH = 10. La chitine, au contraire, montre au début de fortes valeurs d'adsorption dès pour pH = 4 et même les valeurs proches de zéro pour pH = 8.

Ce phénomène est dû à la structure chimique des deux polymères, étant donné que le chitosane a plus de groupes amines libres ( $-NH_2$ ) qui interagissent avec les ions, il est plus actif sur une large gamme de pH. Inversement, la chitine, moins modifiée, ne peut interagir qu'avec des environnements acides.

### c. effet du temps de contact sur l'adsorption du rouge télon lumière :



**Figure 35:** effet de temps de contact chitine

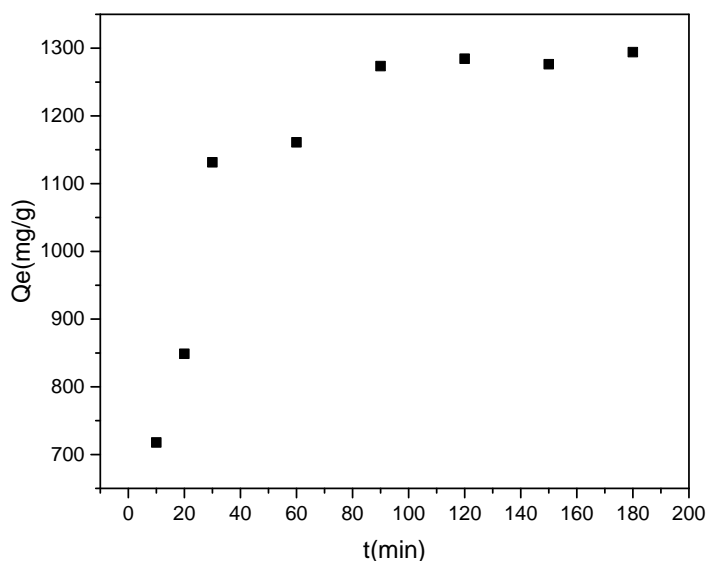
Le temps de contact est un paramètre important dans les procédés d'adsorption, la figure 35 représente la quantité de colorant adsorbée à l'équilibre en fonction du temps de contact. On constate que l'adsorption se fait rapidement dans les premières minutes (120min) de contact traduisant une forte affinité initiale entre les groupes fonctionnels de la chitine et les molécules du colorant.

Suivie d'une lente augmentation jusqu'à ce qu'elle atteigne un état d'équilibre. . Enfin, au-delà de 120 minutes, le système atteint un plateau autour de 92 %, suggérant que l'équilibre d'adsorption est atteint et que les sites actifs sont saturés.

Cela peut être expliqué par le fait qu'à partir d'équilibre la surface spécifique est saturée (même si on laisse plus de temps la quantité adsorbée restera en équilibre elle ne va pas augmenter).

## Partie III : résultat et discussion

---

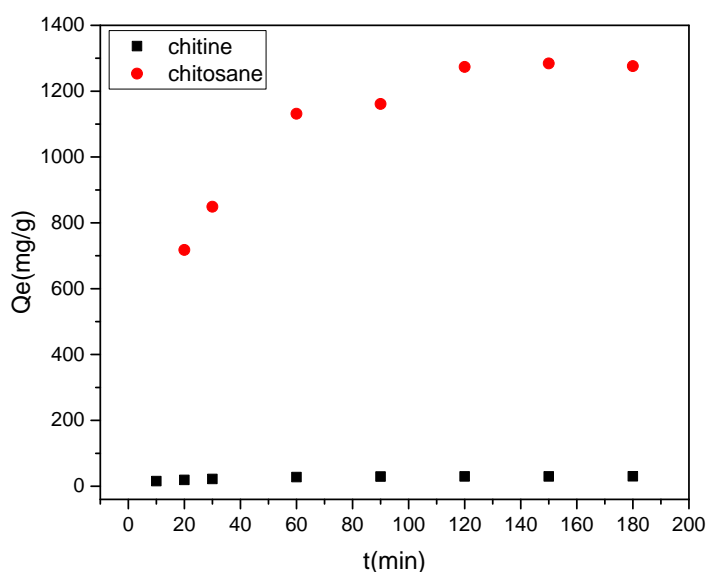


**Figure 36:** effet de temps de contact chitosane

Le temps de contact est un paramètre important dans les procédés d'adsorption, la figure 36 représente la quantité de colorant adsorbée à l'équilibre en fonction du temps de contact pour le chitosane. On constate que l'adsorption se fait rapidement dans les premières minutes (120min) de contact, où la majorité des sites actifs sont encore disponibles, suivie d'une lente augmentation jusqu'à ce qu'elle atteigne un état d'équilibre vers 180 minutes. Le temps nécessaire pour atteindre le palier d'équilibre est d'environ 3h et la quantité du colorant adsorbée à l'équilibre est d'environ 17 000 mg/g.

Cela peut être expliqué par la présence de nombreux groupes amines ( $-NH_2$ ) capables d'interagir efficacement avec les molécules du colorant. Une fois l'équilibre atteint la surface spécifique est saturée (même si on laisse plus de temps la quantité adsorbée restera en équilibre elle ne va pas augmenter).

## Partie III : résultat et discussion



**Figure 37:** comparaison temps de contact

Effet du temps de contact sur l'adsorption du Rouge Télon Lumière – Comparaison entre la chitine et le chitosane :

Le temps de contact est un paramètre important dans les procédés d'adsorption, la figure 9 représente la quantité de colorant adsorbée à l'équilibre en fonction du temps de contact pour deux biosorbants : la chitine et le chitosane.

On constate que dans les deux cas l'adsorption se fait rapidement dans les premières minutes (120min) de contact, grâce à la disponibilité des sites actifs. Suivie d'une lente augmentation jusqu'à ce qu'elle atteigne un état d'équilibre. Le temps nécessaire pour atteindre le palier d'équilibre est d'environ 180 minutes (3 heures) Lorsque l'équilibre est établi, la quantité adsorbée demeure inchangée, signalant une saturation des sites d'adsorption.

Toutefois, on observe une distinction notable entre ces deux matériaux :

Concernant le chitosane, la quantité de colorant adsorbée à l'état d'équilibre se situe approximativement autour de 17 000 mg/g, indiquant ainsi une forte capacité d'adsorption.

Toutefois, la chitine présente un niveau d'adsorption inférieur, autour de 13 000 mg/g.

## Partie III : résultat et discussion

---

Cette différence est due à la nature chimique du chitosane, qui présente un nombre plus élevé de groupes fonctionnels amines (-NH<sub>2</sub>). Ces groupes favorisent des interactions électrostatiques et des liaisons hydrogène avec les molécules du colorant. Quant à la chitine, elle contient un nombre inférieur de ces groupes actifs, limitant ainsi son potentiel d'adsorption.

De plus, le chitosane présente une vitesse d'adsorption initiale plus élevée, ce qui suggère une meilleure accessibilité des sites actifs.

### 2. Modélisation des isothermes d'adsorptions :

#### a-Isotherme d'adsorption du rouge télon lumière :

Suite à l'analyse de l'impact de la concentration initiale sur le volume de colorant adsorbé par le support, une modélisation mathématique des résultats a été entreprise pour illustrer les interactions entre l'adsorbant et l'adsorbat grâce à l'utilisation d'isothermes d'adsorption.

Les équilibres d'adsorption sont généralement représentés par des équations d'isothermes d'adsorption de Freundlich, Langmuir et Temkin. Ces équations sont caractérisées par des constantes spécifiques dont les valeurs déterminent les propriétés de surface et l'affinité du support solide pour les espèces en cours d'adsorption. On a utilisé les modèles isothermes de Freundlich et de Langmuir en effectuant une représentation graphique :

$\ln q_e = f(\ln C_e)$  pour Freundlich afin de déterminer n et K ;

$C_e/q_e = f(C_e)$  pour Langmuir afin de déterminer  $q_m$  et b

#### b- Isotherme de Freundlich :

Le modèle d'adsorption de Freundlich est utilisé dans le cas de formation possible de plus d'une monocouche d'adsorption sur la surface et les sites sont hétérogènes avec des énergies de fixation différentes. Il est aussi souvent utilisé pour décrire l'adsorption chimique des composés organiques sur le charbon actif, à des concentrations relativement élevées dans l'eau et l'eau usée. Généralement l'isotherme de Freundlich est donnée par les équations suivantes :

$$q_e = k_e c_{eq}^{\frac{1}{n}}$$

## Partie III : résultat et discussion

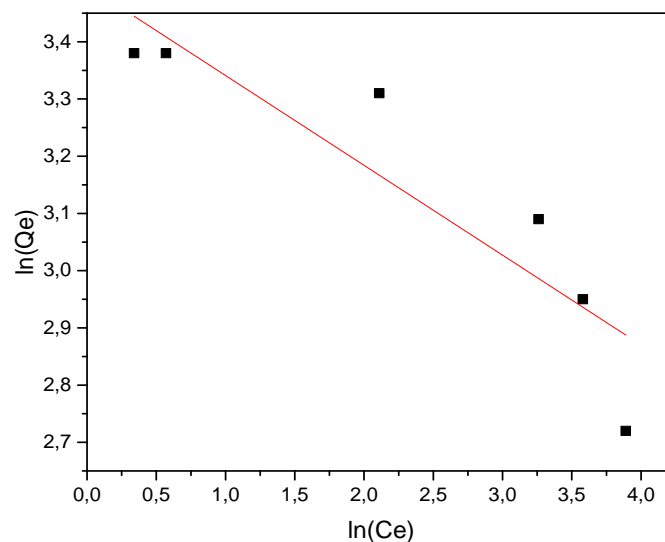
L'équation de Freundlich est empirique mais souvent utile pour la description des données. La forme logarithmique est :

$$\log q_e = \log k_f + \frac{1}{n} \log c_{eq}$$

- $q_e$  : la quantité de soluté adsorbée à l'équilibre (en mg/g)
- $c_e$  : la concentration du soluté restant en solution à l'équilibre (en mg/L)
- $k_f$  : constante de Freundlich, qui représente la capacité d'adsorption
- $\frac{1}{n}$  : facteur indiquant l'intensité ou la favorabilité de l'adsorption

	Chitine	chitosane
$R^2$	0.9	0.97
n	0.156	0.43
K	3090	$2.23 \cdot 10^8$

**Tableau 4:** des paramètres de modélisation selon le modèle de Freundlich



**Figure 38:** modèle Freundlich pour la chitine

## Partie III : résultat et discussion

---

### 1. Modèle de Freundlich pour la chitine :

Le modèle de Freundlich décrit l'adsorption sur une surface hétérogène avec le potentiel de formation de multicouches. Il est particulièrement utile pour caractériser les systèmes où l'énergie d'adsorption varie d'un site à un autre.

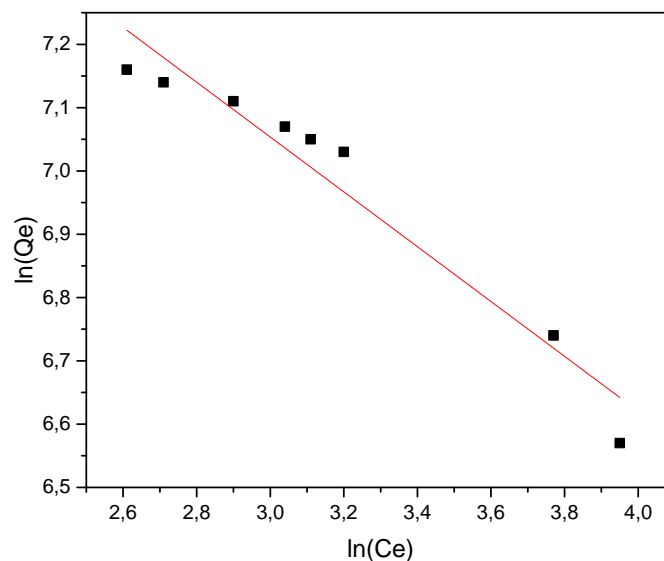
Les paramètres obtenus pour la chitine sont :

$$R^2 = 0,90$$

$$n = 0,156$$

$$K = 3090.$$

Un ajustement raisonnable du modèle aux données expérimentales est démontré par le coefficient de détermination  $R^2 = 0,90$ . Cependant, la valeur de  $n = 0,156$  (inférieure à 1) suggère une adsorption moins qu'idéale, indiquant que la chitine n'a pas une forte affinité pour le Colorant. La constante  $K = 3090$  reste modeste, indiquant une capacité d'adsorption limitée.



**Figure 39:** modèle Freundlich pour le chitosane

## Partie III : résultat et discussion

---

### 2. Modèle de Freundlich pour le Chitosane :

Les paramètres de chitosane obtenus sont :

$$R^2 = 0,97$$

$$n = 0,43$$

$$K = 2,23 \times 10^8$$

Avec un coefficient de corrélation élevé ( $R^2 = 0,97$ ), le modèle de Freundlich s'adapte très bien aux données du chitosane. Bien qu'inférieur à 1, la valeur de  $n = 0,43$  est significativement plus élevée que celle de la chitine, indiquant une adsorption modérément favorable. De plus, la constante  $K$  atteint une valeur exceptionnellement élevée ( $2,23 \times 10^8$ ), indiquant une capacité d'adsorption extraordinaire, même à faibles concentrations.

### Comparaison :

Le modèle de Freundlich montre que le chitosane est plus efficace que la chitine pour l'adsorption du colorant.

Le coefficient  $R^2$  est plus élevé pour le chitosane (0,97) que pour la chitine (0,90), indiquant que les résultats expérimentaux s'ajustent mieux au modèle dans le cas du chitosane.

Pour les deux ( $n = 0,156$  pour la chitine et  $n = 0,43$  pour le chitosane), le paramètre  $n$  est inférieur à 1, indiquant un processus d'adsorption difficile, mais le chitosane performe mieux dans l'ensemble.

Le fait que la constante  $K$  soit faible pour la chitine (3090) et très élevée pour le chitosane ( $2,23 \times 10^8$ ) indique que le chitosane peut absorber beaucoup plus de colorant.

### c-Modèle de Langmuir :

L'isotherme de Langmuir est valable pour l'adsorption monocouche sur une surface contenant un nombre fini de sites identiques. Ainsi, le Langmuir représente la distribution à l'équilibre des ions métalliques entre les phases solide et liquide. Le modèle suppose des énergies uniformes d'adsorption sur la surface et aucune transmigration d'adsorbat dans le plan de la surface. Sur la base de ces hypothèses Langmuir a représenté l'équation donnée comme suit [17-19] :

$$q_e = \frac{q_{\max} k_1 c_e}{1 + k_1 c_e}$$

$c_e$  : Est la concentration d'adsorbat à l'équilibre ( $\text{mmol.l}^{-1}$ ) ;

$q_e$  : Quantité adsorbée à l'équilibre ( $\text{mmol.g}^{-1}$ ) ;

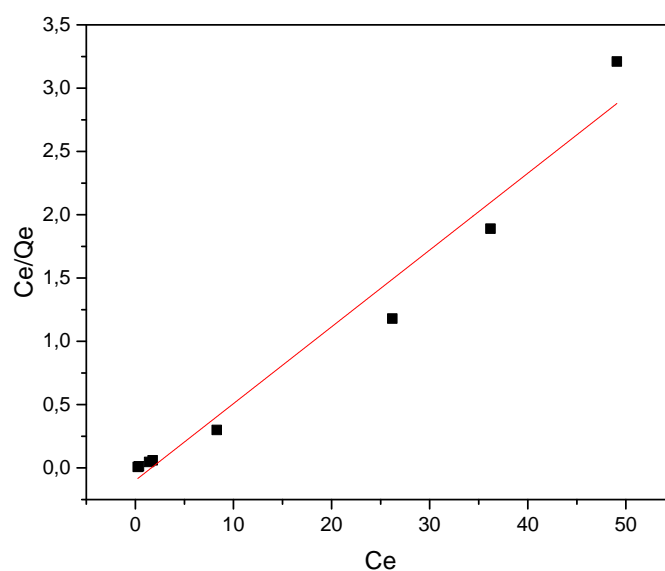
## Partie III : résultat et discussion

$q_m$  : Capacité maximale d'adsorption par unité de masse de l'adsorbant ( $\text{mmol.g}^{-1}$ ), pour former une monocouche complète sur la surface.

$k_l$ : Est la constante de Langmuir liée à la capacité d'adsorption ( $\text{mmol.l}^{-1}$ ), ce qui peut être corrélé avec la variation de la surface appropriée et de la porosité de l'adsorbant qui implique qu'une grande surface spécifique et un grand volume de pores conduisent à une capacité d'adsorption plus élevée.

	Chitine	Chitosane
$R^2$	0.98	0.99
$q_m$	29.92	1294.14
b	16.66	625

**Tableau 5:** des paramètres de modélisation selon le modèle de Langmuir



**Figure 40:** modèle de Langmuir pour la chitine

### 1-Modèle de Langmuir pour la chitine :

Le modèle de Langmuir suppose que l'adsorption a lieu sur une surface homogène, formant une surface sans aucune interaction entre les molécules adsorbants.

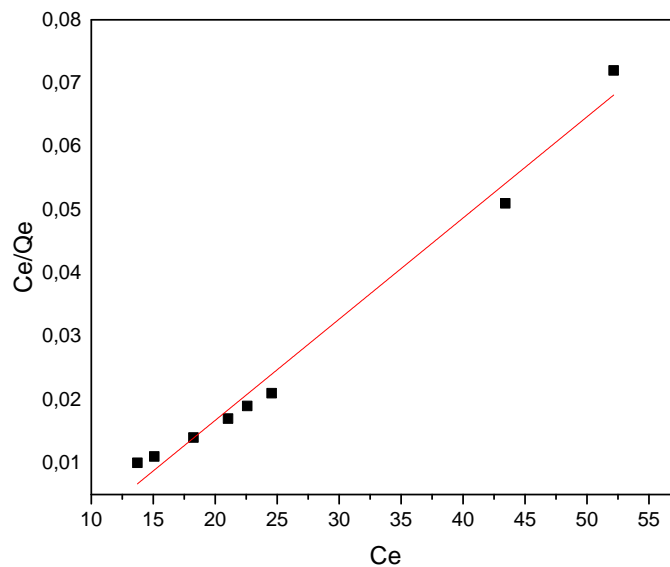
Les paramètres requis pour la chitine et ses suivants :

$$R^2 = 0,98$$

$$q_m = 29,92 \text{ mg/g}$$

$$b = 16,66$$

Le fort d'ajustement ( $R^2 = 0,98$ ) permet au modèle de capturer un ajustement approprié entre la concentration et l'adsorption de la puce. Veuillez noter que la capacité d'adsorption maximale ( $q_m$ ) est disponible, ce qui indique que l'efficacité de la couleur est limitée. La couleur constante, qui montre l'effet adsorbant de la couleur, est modérée, ce qui indique que l'absorption de la couleur absorbante est la plus efficace.



**Figure 41:** modèle de Langmuir pour la chitosane

### 2-Modèle de Langmuir pour la chitosane :

Les paramètres du modèle de Langmuir pour la chitosane sont :

$$R^2 = 0,99$$

$$q_m = 1294,14 \text{ mg/g}$$

$$b = 625$$

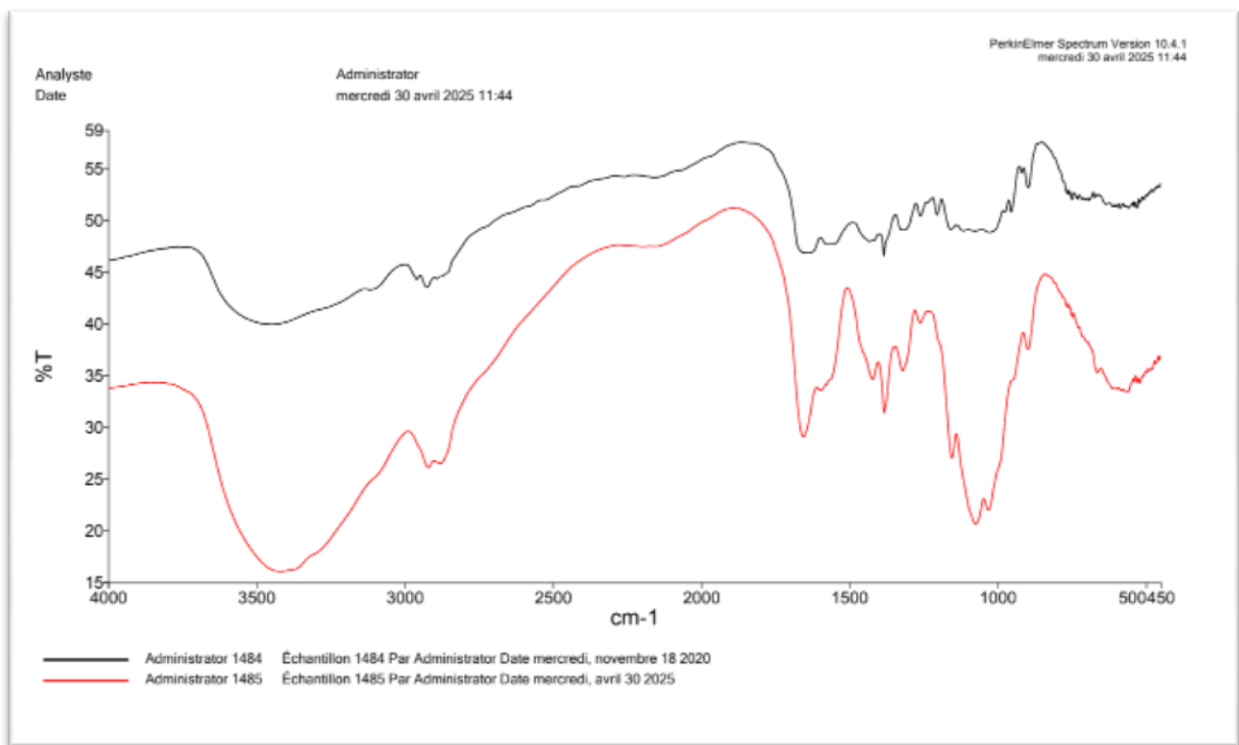
Un excellent accord avec le modèle de Langmuir est démontré par le coefficient de corrélation très élevé ( $R^2 = 0,99$ ). La capacité d'adsorption maximale extrêmement élevée met en évidence le potentiel du chitosane en tant que biosorbant. De plus, même à faibles concentrations, la valeur élevée de la constante  $b$  indique une forte affinité entre le colorant et le chitosane.

### Comparaison:

Cette comparaison met en évidence la supériorité du chitosane par rapport à la chitine en termes d'adsorption. Grâce à sa structure chimique riche en groupes amines et à sa plus grande porosité, le chitosane possède une meilleure capacité d'interaction avec les molécules du colorant.

### 3. Caractérisation du biosorbant (Analyses par spectroscopie infrarouge) :

Les spectres infrarouges obtenus permettent l'apparition d'une série de pics d'absorption. A partir de la Figure suivante.



**Figure 42:** le spectre infrarouge de la chitine et la chitosane sous forme de bille (— chitine, — chitosane).

#### a-interprétation du spectre IR du chitine et chitosane:

Analyse Infrarouge (IR) de la chitine et du chitosane

L'analyse spectroscopique infrarouge (IR) permet de mettre en évidence les principaux groupes fonctionnels présents dans la structure chimique de la chitine et du chitosane. C'est deux biopolymères présentent plusieurs bandes caractéristiques :

Bande O–H (groupes hydroxyles) :

Une bande large est observée entre 3200 et 3500 cm<sup>-1</sup>, correspondant aux vibrations d'élongation des liaisons O–H. Cette bande est typique des groupes hydroxyles, abondants

## Partie III : résultat et discussion

---

dans les structures polysaccharidiques, et indique la formation de liaisons hydrogènes intramoléculaires et intermoléculaires.

Bande C–H (liaisons aliphatiques) :

Les vibrations d'élongation des liaisons C–H apparaissent dans la région de 2800 à 3000  $\text{cm}^{-1}$ , traduisant la présence de groupes méthyle ( $-\text{CH}_3$ ) et méthylène ( $-\text{CH}_2-$ ) dans la chaîne polymérique.

Bande C=O (groupes amides) :

La bande d'élongation de la liaison C=O des groupes amides (appelée amide I) se manifeste entre 1650 et 1750  $\text{cm}^{-1}$ . Elle est bien marquée dans la chitine, en raison de sa forte acétylation, alors qu'elle est moins intense dans le chitosane, qui a subi une désacétylation partielle.

Bande C–N (groupes amides) :

Les vibrations d'élongation des liaisons C–N (amide II) apparaissent généralement dans la région 1000 à 1300  $\text{cm}^{-1}$ . Elles sont plus nettes dans la chitine, ce qui reflète sa structure fortement acétylée, tandis que dans le chitosane, elles sont atténuées en raison de la conversion des amides en amines libres.

Bande C–O–C (liaisons glycosidiques) :

Les vibrations liées aux liaisons glycosidiques (C–O–C) apparaissent entre 1000 et 1150  $\text{cm}^{-1}$ . Cette bande est observée aussi bien dans la chitine que dans le chitosane, confirmant leur structure polysaccharidique.

# Conclusion

## Conclusion

---

Cette étude a rendu possible l'usage du processus d'adsorption pour juger de l'efficacité de deux biopolymères naturels, la chitine et le chitosane, dans la suppression du colorant Rouge Téton Lumière des solutions aqueuses. Cette recherche fait partie d'une démarche visant à traiter les eaux résiduaires industrielles, spécifiquement celles provenant de l'industrie du textile, réputée pour déverser d'importantes quantités de produits chimiques colorés toxiques et non biodégradables dans le milieu aquatique.

L'approche expérimentale a impliqué l'étude de l'influence de divers facteurs clés sur le pouvoir d'adsorption de la chitine et du chitosane :

Le chitosane continue de bien fonctionner même à des niveaux de pH bas.

Temps de contact : des expériences ont montré que l'adsorption à l'équilibre est atteinte après environ 180 minutes. Contrairement à la chitine, qui a une capacité d'adsorption de 13 000 mg/g, le chitosane a démontré une capacité d'adsorption à l'équilibre de 17 000 mg/g. De plus, le chitosane démontre une vitesse d'adsorption initiale plus élevée, indiquant une accessibilité supérieure de ses sites actifs.

Modélisation des isothermes : les deux méthodes traditionnelles, Freundlich (pour l'adsorption multilayer sur une surface hétérogène) et Langmuir (pour l'adsorption en une seule couche), ont été appliquées. Les coefficients de corrélation, qui affichent un  $R^2$  supérieur à 0,97, illustrant une grande affinité et une répartition homogène, valident l'application du modèle de Langmuir, plus précisément dans le cas du chitosane. Le chitosane, en tant que biosorbant, démontre son potentiel considérable avec une constante  $q_m$  de Langmuir atteignant 1294,14 mg/g.

L'étude de l'effet de la concentration initiale du colorant Rouge Téton Lumière a révélé des résultats significatifs sur la performance des deux biosorbants étudiés : la chitine et le chitosane.

Les résultats expérimentaux ont montré que la quantité de colorant adsorbée ( $q$ , en mg/g) augmente avec l'élévation de la concentration initiale ( $C_0$ ) jusqu'à atteindre un plateau d'équilibre, traduisant la saturation progressive des sites actifs présents à la surface des adsorbants. Cette tendance est observée pour les deux matériaux, bien qu'avec des performances nettement différentes.

## Conclusion

---

Pour la chitine, l'adsorption augmente modérément avec la concentration, mais atteint rapidement un état d'équilibre. Cela s'explique par une disponibilité limitée des sites actifs, et par la nature chimique moins réactive de la chitine.

À l'inverse, le chitosane présente une capacité d'adsorption bien plus élevée. Il atteint un maximum de 928,21 mg/g, ce qui traduit une affinité remarquable entre les groupes fonctionnels amines ( $-NH_2$ ) du chitosane et les molécules du colorant.

Analyse infrarouge (IR) : La spectroscopie IR a permis d'identifier les groupes fonctionnels qui distinguent les deux polymères. La présence de groupes amine plus visibles dans le spectre du chitosane valide sa supériorité dans les interactions avec le colorant.

Les résultats montrent clairement que le chitosane est un matériau biosorbant qui est nettement plus efficace que la chitine pour éliminer le colorant Rouge Téton Lumière. Sa composition chimique complexe, sa porosité supérieure et son incroyable stabilité à travers une vaste gamme de pH font de lui la préférence pour le traitement des eaux usées teintées.

En outre, l'exploitation de la chitine et du chitosane, dérivés des déchets marins tels que les coquilles de crabes et de crevettes, contribue à la valorisation de ces sous-produits précieux et s'aligne avec une perspective d'économie circulaire et de chimie respectueuse de l'environnement. Ainsi, cette recherche propose une approche écologique, pérenne et performante pour le traitement des eaux usées, en prenant également en considération les inquiétudes grandissantes liées à la pollution industrielle.

### ➤ Perspectives

Ce travail ouvre la porte à de multiples points de vue :

Optimisation des conditions de traitement au niveau industriel.

Investigation de l'adsorption de mélanges de colorants ou d'autres contaminants organiques.

Fonctionnalisation chimique du chitosane pour améliorer sa capacité ou sa sélectivité.

Création de filtres ou de membranes à base de chitosane pour les stations d'évaporation.

# Références

## Références

---

### ➤ Références Bibliographiques :

- [1] Forgacs, E., Cserhádi, T., & Oros, G. (2004). *Removal of synthetic dyes from wastewaters: a review*. *Environment International*, 30(7), 953–971.
- [2] Al-Ghouti, M. A., & Li, J. (2011). *Removal of dyes from aqueous solution by chitosan: adsorption equilibrium and kinetic studies*. *Journal of Hazardous Materials*, 157(2–3), 344–351.
- [3] Crini, G. (2006). *Non-conventional low-cost adsorbents for dye removal: a review*. *Bioresource Technology*, 97(9), 1061–1085.
- [4] Rinaudo, M. (2006). *Chitin and chitosan: Properties and applications*. *Progress in Polymer Science*, 31(7), 603–632.
- [5] « Dictionnaire de l'environnement », Dictionnaire Environnement, 2010.  
[https://www.dictionnaire-environnement.com/eau\\_usee\\_non\\_traitee\\_ID5307.html](https://www.dictionnaire-environnement.com/eau_usee_non_traitee_ID5307.html) (consulté le juin 14, 2020).
- [6] M. TABET AOUL, ISLAM ET ENVIRONNEMENT. Algérie: BENMERABET, 2010
- [7] « Dictionnaire de l'environnement », Dictionnaire Environnement, 2010.  
[https://www.dictionnaire-environnement.com/eau\\_usee\\_non\\_traitee\\_ID5307.html](https://www.dictionnaire-environnement.com/eau_usee_non_traitee_ID5307.html) (consulté le juin 14, 2020).
- [8] F. REJSEK, Analyse des eaux: aspects réglementaires et techniques. Centre régional de documentation pédagogique d'Aquitaine, 2002.
- [9] « Etude et suivi des effluents liquides dans l'unité de traitement du complexe GL1/Z ». 2013
- [10] J.RODIER, L'analyse de l'eau naturelle, eaux résiduaires, eaux de mer, 8e éd. Paris: DUNOD technique, 2005.
- [11] G.GROSCLAUDE, L'eau: Tome 2: Usages et polluants G Grosclaude - 1999. 1999.
- [12] : Douadi Mohammed et Medakene Abderrahmane, intitulé (Etude de l'adsorption d'une eau polluée par des hydrocarbures sur charbon actif), mémoire de master, Université kasdi merbah, Ouargla, 2017
- [13] : Moumenine Sarah, intitulé (Elimination de polluants des eaux d'usines par adsorption sur charbon de chêne en combinaison avec un désinfectant.), Université abou bekr belkaid, Tlemcen, 2011.
- [14] : Oubagha Noura, intitulé (Décontamination des eaux contenant les colorants textiles et les adjuvants par des matériaux naturels et synthétiques.), mémoire de magister, Université de Tizi Ouzou, 2012.

## Références

---

- [15] : Imane Benhamed, intitulé (Amélioration par ajout d'un métal de transition de la régénération in situ d'un charbon actif par oxydation catalytique.), thèse de doctorat, Université de Toulouse, 2015.
- [16] Hadj-Sadok, Z. M., 1999 Modélisation et estimation dans les bioréacteurs ; prise en compte des incertitudes : application au traitement de l'eau. -Thèse : Faculté des sciences de l'ingénieur, Université de Nice – Sophia Antipolis, France.
- [17] Alexandre, O, Boutin, C., Duchène, Ph., Lagrange C., Lakel, A., Liénard, A. and Orditz, D., 1998 Filières d'épuration adaptées aux petites collectivités. -Technique et documentation Lavoisier (FNDAE N22), Paris, France.
- [18] Iwema, A., Raby, D., Lesavre, J. and Boutin, C., 2005 Epuration des eaux usées domestiques par filtres plantes de macrophytes : recommandations techniques pour la conception et la réalisation. -Groupe macrophytes et traitement des eaux, Agence de l'eau, France.
- [19] Bürger, R and Wendland, W., 2001 Sedimentation and suspension flows: Historical perspective and some recent developments. -Journal of Engineering Mathematics Vol 41, pp 101-116.
- [20] Taylor J.S, Jacobs E P, (1996), Water treatment membrane processes. New-York, NY, Page: 238.
- [21] Calabro V, Pantano G, Kang R, Molinari R et Drioli E, (1990), Experimental study on integrated membrane processes in the treatment of solutions simulating textile effluents. Vol 78, Page: 257-277 [22] Van der Zee F.P. et Villaverde S, (2005), Combined anaerobic-aerobic treatment of azo dyes-A short review of bioreactor studies. Vol 39, Page: 1425-1440.
- [23] Bousnoubra. I, Contribution à l'élimination de colorants (Vert de méthyle et Bromocrésol pourpre) par procédés photochimiques en phase homogène (séparés et mélangés), en phase hétérogène en milieu aqueux et par adsorption (Vert de méthyle) sur ZnO, Thèse du doctorat, Université des frères Mentouri-Constantine1. (2017).
- [24] Bousnoubra. I., Contribution à l'élimination de colorants (Vert de méthyle et Bromocrésol pourpre) par procédés photochimiques en phase homogène (séparés et mélangés), en phase hétérogène en milieu aqueux et par adsorption (Vert de méthyle) sur ZnO, Thèse du doctorat, Université des frères Mentouri-Constantine1. (2017).
- [12- 18] Naidja. L, Elimination du colorant orange II en solution aqueuse, Par voie photochimique et par adsorption, Mémoire en magister, Université des frères Mentouri-Constantine. (2010).
- [12- 18] Bouazza. F, Elimination des polluants organiques par des argiles naturelles et modifiées, Mémoire en magister, Université Abou bakerbelkaid – Tlemcen.(2012)

## Références

---

- [15- 21] Ferguene.A, Adsorption d'une mixture colorant-métal lourd sur un déchet agroalimentaire, Mémoire en magister, Université des Sciences et de la Technologie Houari Boumediene. (2009).
- [22] Aliouche.S, Etude de l'alimentation d'un colorant par différentes méthodes photochimiques en milieux aqueux , Mémoire en magister, Université Mentouri - Constantine.(2007).
- [23] Nait M. N, Application des tiges de dattes dans l'adsorption de polluants organique , Mémoire en magister, Université Mohamed Cherif Massaadia Souk-Ahras.(2014).
- [24] : Sekirifa Mohamed Lamine, intitulé (Étude des propriétés adsorbants des charbons activés issus des noyaux de dattes. Application au traitement d'effluent aqueux.), thèse de doctorat, Université Badji Mokhtar, Annaba, 2012.
- [25] : Bamba Drissa intitulé (élimination du diuron des eaux par des techniques utilisant les ressources naturelles de la cote d'ivoire : photocatalyse solaire et charbon actif de coques de noix de coco.), these de doctorat, Université de cocody, Abidjan, 2007
- [26] Gouarir. B, Elimination d'un colorant par adsorption sur support solide et par procédés photochimiques, en milieu aqueux, Mémoire en magister, Université Constantine 1.
- [27] BOUALLA.Net BENZIANE.A , Étude expérimentale sur l'élimination des nitrates par adsorption sur des argiles activées et non activées de la sebkha d'Oran, Article Afrique SCIENCE 07(2)56 – 73, Université des Sciences et de la Technologie d'Oran.(2011
- [28] Analysis of Chitin and Chitosan IN "Chitin chemistry". Roberts, G. A. F. MacMillan Press Ltd. London. (1992): 94-95.
- [29] Chitin, Pergamon IN Chitine et chitosane: du biopolymère à l'application, Press, Oxford, chap 2 Muzzarelli, A. Riccardo, (1977).
- [30] Peesan, M., Rujiravanit, R., and Supaphol, P. "Characterisation of beta-chitin/poly (vinyl alcohol) blend films." Polymer testing 22(4), 381-387, (2003)
- [31] Rudall, K. M., and W. Kenchington. "The chitin system." Biological Reviews 48(4), 597-633, (1973).
- [32] Austin, P.R. "Chitin solvents and solubility parameters." Chitin, Chitosan, and Related Enzymes. Academic press (1984). 227-237.
- [33] From blends and composites to gels and complex networks, Thomas, S., et al., eds. Handbook of biopolymer-based materials, John Wiley and Sons, 2013.
- [34] Sannan, T., Kurita, K., and Iwakura, Y. "Studies on chitin, 2. Effect of désacétylation on solubility." Macromolecular Chemistry and Physics 177(12), 3589-3600, (1976).

## Références

---

- [35] Atkins, E. "Conformations in polysaccharides and complex carbohydrates." *Journal of Biosciences* 40(8), 375-387, (1985).
- [36] Rudall, K.M. "Chitin and its association with other molecules." *Journal of Polymer Science: Polymer Symposia*. Wiley Subscription Services, Inc., A Wiley Company, 28(1), (1969).
- [37] Kenchington, W. "Adaptation of insect peritrophic membranes to form cocoon fabrics." *The Insect Integument*, 11, 497-513, (1976).
- [38] Shahidi, F. and Abuzaytoun, R. Chitin, chitosan, and co-products: chemistry, productions, applications, and health effects. *Adv. Food Nutr. Res.*, 49, 93-135, (2005).
- [39] Rao MS, Nyein KA, Trung TS, Stevens WF: Optimum parameters for production of chitin and chitosan from squilla (*S. empusa*). *J Appl Polym Sci*, 103(6), 3694-3700, (2003).
- [40] Chitin, Pergamon IN Chitine et chitosane: du biopolymère à l'application, Press, Oxford, chap 2 Muzzarelli, A. Riccardo, (1977).
- [41] Yang, B.Y. & Montgomery, R. Degree of acetylation of heteropolysaccharides., *Carbohydr. Res* (323), 156-162, (2000).
- [42] Seng, J.M. Chitine, chitosane et dérivés: de nouvelles perspectives pour l'industrie. *Biofutur*, 9, 40-44, (1988).
- [43] Shahidi, F., Arachchi, J. K. V., & Jeon, Y.-J. Food applications of chitin and chitosans. *Trends in Food Science & Technology*, 10(2), 37–5, (1999).
- [44] Ribeiro, M. P., et al. "Development of a new chitosan hydrogel for wound dressing." *Wound repair and regeneration* 17.6 (2009): 817-824.
- [45] Transmo, A., Skaugrud, O., and Harman, G. E. "Use of chitin and chitosan in biological control of plants disease." *Chitin Enzymology* (1993): 265-270.
- [46] Kato J, et al. " Physiological role of chitinase and chitin-binding lectin in cucumber,in *Chitin enzymology* . " *Eur. Chitin Soc.* (1993): 257–64.
- [47] Lienart, Y., et al. "Tetrameters of chitin (chitosan) as elicitors in *Rubus* protoplasts." *Chitin enzymology* (1993): 271-276.
- [48] Nadarajah, K., et al. "Sorption behavior of crawfish chitosan films as affected by chitosan extraction processes." *Journal of Food Science* 71.2 (2006):33–39.
- [49] Lebouc, F., et al. "Different ways for grafting ester derivatives of poly (ethylene glycol) onto chitosan: related characteristics and potential properties." *Polymer* 46.3 (2005): 639-651

## Références

---

- [50] Ruiz, Montserrat, Ana Maria Sastre, and Eric Guibal. "Palladium sorption on glutaraldehyde-cross linked chitosan." *Reactive and Functional Polymers* 45.3 (2000): 155-173.
- [51] Lebouc, F., et al. "Synthesis of phosphorus-containing chitosan derivatives." *Phosphorus, sulfur, and silicon .Taylor and Francis* 184.4 (2009): 872-889.
- [52] Jouannin, C., et al. "Highly porous catalytic materials with Pd and ionic liquid supported on chitosan." *Journal of Applied Polymer Science* 128.5 (2013): 3122-3130.
- [53] Clousier, N., et al. "Catalytic materials based on catalysts containing ionic liquid phase supported on chitosan or alginate: Importance of the support." *Comptes Rendus Chimie* 14.7-8 (2011): 680-684.
- [54] Baudoux, J., et al. "Development of new SILP catalysts using chitosan as support." *Green Chemistry* 9.12 (2007): 1346-1351.
- [55] Crini, G. "Recent developments in polysaccharide-based materials used as adsorbents in wastewater treatment." *Progress in polymer science* 30.1 (2005): 38-70.
- [56] Crini, G. "Non-conventional low-cost adsorbents for dye removal: a review." *Bioresource technology* 97.9 (2006): 1061-1085.
- [57] Renault, F., et al. "Chitosan flocculation of cardboard-mill secondary biological wastewater." *Chemical Engineering Journal* 155.3 (2009): 775-783.

## Résumé

Cette étude examine l'efficacité de deux biopolymères naturels, la chitine et le chitosane, pour l'absorption du colorant textile Rouge Télon Lumière à partir d'une solution aqueuse. L'analyse expérimentale examine l'impact de différents éléments comme la concentration initiale du colorant, le pH, la durée de contact, et inclut également une modélisation à l'aide des isothermes de Freundlich et Langmuir. Les données indiquent que le chitosane a une capacité d'adsorption plus élevée que la chitine, en raison des groupes amines qui favorisent les interactions avec le colorant. Le chitosane se révèle donc être un biosorbant de grande efficacité pour l'épuration des eaux colorées.

## Abstract

This study examines the effectiveness of two natural biopolymers, chitin and chitosan, for the absorption of the textile dye Red Télon Lumière from an aqueous solution. The experimental analysis examines the impact of various elements such as the initial dye concentration, pH, contact duration, and also includes modeling using Freundlich and Langmuir isotherms. The data indicate that chitosan has a higher adsorption capacity than chitin, due to the amine groups that promote interactions with the dye. Chitosan thus proves to be a highly effective biosorbent for the purification of colored waters.

## ملخص

تدرس هذه الدراسة فعالية اثنين من البوليمرات الطبيعية، الكيتين والكيتوزان، في امتصاص صبغة النسيج الحمراء تيلون لومير من محلول مائي. تحلل التجربة تأثير العناصر المختلفة مثل التركيز الأولي للصبغة، الرقم الهيدروجيني، مدة التلامس، وتشمل أيضًا نمذجة باستخدام نماذج فريندلش ولانجموير. تشير البيانات إلى أن الكيتوزان لديه قدرة امتصاص أعلى من الكيتين، بسبب المجموعات الأمينية التي تعزز التفاعلات مع الصبغة. يتبين أن الكيتوزان هو ماص حيوي ذو كفاءة عالية لتنقية المياه الملونة.