

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE
UNIVERSITE 20 AOÛT 1955 SKIKDA
FACULTE DE TECHNOLOGIE
DEPARTEMENT DE GENIE DES PROCEDÉS



Mémoire

En vue de l'obtention du diplôme de

MASTER

Filière : Génie des procédés

Spécialité : Ingénierie & Gestion de l'Eau

*Amélioration de l'adsorption du rouge congo par
des matériaux polymères pour éliminer les polluants
organiques*

Soutenu le/06/2023

Réalisé par : Chaïben Meriem

Younes Haoua

Chouit Samah

Encadré par : Rahim Mohamed

Co encadrer : Benkharrat Hichem

Année Universitaire 2022- 2023

Remerciement

*Tout d'abord louange a' Dieu tout-puissant, que nous a donné la santé,
le courage, la volonté et la patience*

De faire ce travail

*Remerciements particuliers a notre encadreur **Dr.Rahim Mohammed** et
doctorant **Ben Kharrat. H** et un grand merci au **Dr.Rahal hasssiba***

*Nous tenons aussi à exprimer no profonds remerciements aux membres
de jury qui ont accepté de juger ce*

*Modeste travail nous tenons aussi a remercier nos enseignants de
département de génie des procédés pour la*

Formations que nous avons reçues

*Nos derniers remerciements et qui ne sont pas les moindres vont tous
ceux qui ont contribué près*

Ou de loin pour l'aboutissement de ce travail

*Finalement je remercie toute personne ayant participé de près ou de loin
dans*

L'enrichissement de ce travail.

Dédicace

Nous sommes heureux de dédier cet humble travail :

A mon chères mère Fadila et mon père ABd El Malek, pour nous donner

toujours l'espoir dans la vie

Et ne Cesser de prier pour nous.

A nos parent pour nos encouragement et notre soutien, notamment dans

Leurs sacrifices afin de ne pas gêner la progression de nos études.

Ma trinôme Younes Haoua et sa famille.

Chouit Samah et sa famille.

Mes frères : Yahya , Ali, Adem

Mes sœurs :Loubna, Chaima, Khadija, Aya

La famille Zeroual, en particulier Mouloud

Mes petits enfants : Farah, Amir, Abd El rahmane

Mes amis : Rabah, Khanssa, Oumaima, Narimene

Mes collègues : Amira, Imene

Pour tous ceux que nous aimons et respectons.

Chaiben Meriem.

Dédicace

Nous sommes heureux de dédier cet humble travail :

A mon chères mère Hada et mon père Rachid, pour nous donner

toujours l'espoir dans la vie

Et ne Cesser de prier pour nous.

A nos parent pour nos encouragement et notre soutien, notamment dans

Leurs sacrifices afin de ne pas gêner la progression de nos études.

Ma trinôme Chaiben Meriem et sa famille.

Chouit Samah et sa famille.

Mes frères et mes sœurs

Mes petits enfants : Nour El Yakine..... Abd El ghafour

Mes amis et mes collègues

Pour tous ceux que nous aimons et respectons.

Younes Haoua.

Dédicace

Nous sommes heureux de dédier cet humble travail :

A mon chères mère Razika et mon père Ammar, pour nous donner

toujours l'espoir dans la vie

Et ne Cesser de prier pour nous.

A nos parent pour nos encouragement et notre soutien, notamment dans

Leurs sacrifices afin de ne pas gêner la progression de nos études.

Ma trinôme Chaiben Meriem et sa famille.

Younes Haoua et sa famille.

Mes frères : Abd El Malek , Haitem

Mes sœurs :Chemsse, Chaima,lina

Ma grande mère : Rbiha

Tous mes amis

Pour tous ceux que nous aimons et respectons.

Chouit Samah.

Résumé

Ce travail a commencé par une étude bibliographique sur la pollution de l'eau, les colorants et l'adsorption, qui constituent un fond documentaire très utile pour les études ultérieures. Par ailleurs, le travail expérimental réalisé a été consacré à l'élimination du rouge congolais par adsorption sur un matériau polymère représenté par le chitosane, mais le but de cette étude est de réaliser des tests d'adsorption RC. L'effet de différents facteurs sur l'adsorption (temps de contact, masse d'adsorbant, pH et concentration initiale de la solution) a été étudié. La modélisation des isothermes d'adsorption a été réalisée en exploitant deux modèles expérimentaux : Langmuir et Freundlich.

Mots clés : colorants, adsorption, chitosane, isothermes, cinétique, Rouge Congo.

summary

This work began with a bibliographic study on water pollution, dyes and adsorption, which constitute a very useful documentary background for subsequent studies. In addition, the experimental work carried out was devoted to the elimination of Congolese red by adsorption on a polymer material represented by chitosan, but the purpose of this study is to carry out RC adsorption tests. The effect of different factors on adsorption (contact time, mass of adsorbent, and pH and initial concentration of the solution) was studied. The modeling of the adsorption isotherms was carried out by exploiting two experimental models: Langmuir and Freundlich.

Key words : adsorption, dyes, chitosan, isotherms, retention, Red Congo.

ملخص

بدأ هذا العمل بدراسة ببيوغرافية عن تلوث المياه والأصباغ والامتزاز ، والتي تشكل خلفية وثائقية مفيدة للغاية للدراسات اللاحقة. بالإضافة إلى ذلك ، تم تخصيص العمل التجريبي الذي تم إجراؤه للتخلص من الأحمر الكونغولي عن طريق الامتزاز على مادة بوليمر يمثلها الكيتوزان ، ولكن الغرض من هذه الدراسة هو إجراء اختبارات امتزاز الأحمر الكونغولي. تمت دراسة تأثير العوامل المختلفة على الامتزاز (زمن التلامس ، كتلة المادة الماصة ، الأس الهيدروجيني والتركيز الأولي للمحلول). تم تنفيذ نمذجة متساوي درجة حرارة الامتزاز باستغلال نموذجين تجريبيين هما لانجموير وفريونديش.

كلمات مفتاحية : الإدمصاص, ملونات, الشيتوزان, ايزوتارم, الحركية, رمحلا الكونغولي

Sommaire

Remerciement	
Dédicace	
Résumé	
Liste des figures	
Liste des Tableaux	
Liste d'abréviation	
Introduction générale.....	01
Chapitre I : Généralités sur la pollution de l'eau	
I.1.Introduction.....	04
I.2. Définition de la pollution de l'eau.....	04
I.3. Origines de pollution de l'eau	04
I.3.1.Pollution domestique.....	04
I.3.2.Pollution industrielle.....	05
I.3.3.Pollution agricole.....	06
I.4. Les différents types des pollutions des eaux	06
I.4.1. La pollution organique.....	06
I.4.2 .Pollution biologique.....	06
I.4.3.Pollution thermique.....	07
I.4.4. Pollution radioactive	07
I.4.5. La pollution chimique	07
I.4.6. La pollution agricole.....	07
I.4.6.1. Pesticides	07
I.4.6.2. Engrais chimique.....	07
I.5.Paramètres de la qualité de l'eau.....	08
I.5.1.Paramètres physiques	08

• Température	08
• Odeur.....	08
• Couleur.....	08
• Turbidité	08
• Débit.....	08
• Matières en suspension.....	09
I.5.2.Paramètres chimiques	09
• pH.....	09
• Conductivité.....	09
• Oxygène dissout.....	09
• Demande chimique en oxygène (DCO)	09
• DBO5	10
• Rapport DCO/DBO comme indice de biodégradabilité.....	10
I.6.Norme nationale selon le journal officiel de la république Algérienne et Démocratique (JORAD).....	10
I.7. Généralités sur les colorants.....	11
I.8.Famille des colorants	12
I.8.1.Les colorants naturels.....	12
I.8.2.Les colorants synthétiques.....	12
I.9.Classification des colorants.....	12
I.9.1.Classification chimique	12
• Les colorants azoïques.....	12
• Les colorants anthraquinoniques.....	12
• Les colorants Phtalocyanines	13
• Les colorants nitrés et nitrosés.....	13
I.9.2.Classification tinctoriale.....	14
• Les colorants acides ou anioniques.....	14
• Les colorants basiques ou cationiques.....	14
• Les colorants de cuve.....	14

• Les colorants directs.....	15
• Les colorants à mordants.....	15
• Les colorants réactifs.....	16
• Les colorants développés ou azoïques insolubles.....	16
• Les colorants dispersés	17
I.10. Utilisation et application des colorants	17
I.11. Procédés de traitement des colorants	17
• Traitement Physique.....	18
• Traitement Chimique.....	18
• Biologique.....	18
I.12. Procédés d'élimination des colorants.....	19
I.12.1. Procédés chimiques.....	18
I.12.1.1. Les procédés d'oxydation classique.....	19
• L'hypochlorite de sodium.....	19
• L'ozone.....	19
• Le peroxyde d'hydrogène	19
• Les procédés d'oxydation avancée (POA).....	19
• Procédé d'oxydation avancée chimique : Réaction de Fenton.....	20
• Procédés d'oxydation avancée électrochimique.....	20
• Procédés d'oxydation avancée photochimique.....	20
I.12.2. Procédés physicochimiques.....	20
I.12.2.1. La coagulation-précipitation.....	20
I.12.2.2. Les techniques membranaires.....	21
I.12.2.3. L'échange d'ions.....	21
Conclusion.....	21
Référence bibliographique.....	22

Chapitre II: Discussion sur l'adsorption

II.1.Introduction.....	26
II.2. Définition.....	26
II.3. Les type d'adsorption.....	26
II.3.1.Adsorption physique.....	26
II.3.2.Adsorption chimique.....	27
II.4.Cinétique d'adsorption.....	27
II.4.1.Modèle cinétique du pseudo-premier ordre (Modèle Lagergren)	28
II.4.2.Modèle cinétique de pseudo-second ordre.....	28
II.4.3.Modèle d'Elovich.....	29
II.4.4.Modèle de la diffusion intra particule.....	29
II.5.Isothermes d'adsorption.....	29
II.5.1. Classification des isothermes d'adsorption.....	30
• Isothermes de type S	31
• Isothermes de type L	31
• Isotherme de type H.....	31
• Isotherme de type C.....	31
II.6. Modèles d'adsorption	31
II.6.1.Modèle de Langmuir.....	31
II.6.2.Modèle de Freundlich.....	32
II.6.3.Isotherme BET (Brunauer, Emmet, et Teller).....	33
II.7.Les facteurs influençant les paramètres d'adsorption.....	33
II.7.1.Surface spécifique.....	33
II.7.2.Nature de l'adsorbant.....	33
II.7.3.PH.....	34
II.7.4.Polarité.....	34
II.7.5.Température.....	34

II.8.Les principaux adsorbants.....	34
II.8.1.Les charbons actifs.....	34
II.8.2.Gels de silice.....	35
II.8.3.Zéolithes.....	35
II.8.4.Les argiles activées.....	35
II.8.5.Les tamis moléculaires.....	35
Conclusion.....	35
Référence bibliographique.....	36

Chapitre III: Modes opératoires

III.1.Introduction.....	40
III.2.Produit et matériels.....	40
III.3.Application adsorption.....	41
III.3.1.Choix du colorant	41
➤ Rouge Congo.....	41
III.4.L'adsorbant.....	42
III.4.1.Définition de chitosane.....	42
III.5.Préparation des solutions mère du rouge Congo.....	43
III.6.Méthodes de dosage par spectroscopie UV-Visible.....	44
III.7.Etalonnage de solution.....	45
III.8.Influence de paramètres sur l'adsorption.....	45
III.8.1.Effet de temps de contact de colorant avec l'adsorbant.....	45
III.8.2. Effet de la quantité de l'adsorbant.....	46
III.8.3. l'effet de PH de solution de RC sur l'adsorption.....	47
III.8.4.isotherme d'adsorption.....	48
III.9.Quantités de RC absorbées	48
III.10.Rendement d'élimination.....	49

Référence bibliographique.....	50
Chapitre IV: Résultats et discussion	
IV.1.Introduction.....	52
IV.2. Courbe d'étalonnage.....	52
IV.3. Cinétique d'adsorption (Temps de contact)	53
IV.4.L'effet de la masse de l'adsorbant.....	53
IV.5.Etude de l'effet du pH sur l'adsorption de Rouge Congo	54
IV.6.L'isotherme d'adsorption.....	55
IV.7.Modélisations des résultats.....	56
IV.7.1.Modélisation de la cinétique.....	56
A. Le modèle du Pseudo premier ordre.....	56
B. Le modèle du Pseudo deuxième ordre.....	57
C. Modèle de diffusion intra particulaire.....	57
IV.7.2Modélisation de l'isotherme d'adsorption.....	58
A. Modèle de Langmuir.....	58
B. Modèle de Freundlich.....	59
Conclusion générale.....	61
Annexe.....	63

Liste des figures

Figure I.1 : Structure moléculaire d'un colorant azoïque.....	12
Figure I.2 : Structure moléculaire d'un colorant anthraquinoniques.....	13
Figure I.3 : Structure moléculaire d'un colorant phtalocyanine.....	13
Figure I.4 : Structure moléculaire d'un colorant nitré et nitrosé.....	14
Figure I.5 : Structure moléculaire d'un colorant de cuve.....	15
Figure I.6 : Structure moléculaire d'un colorant direct.....	15
Figure I.7 : Structure moléculaire d'un colorant à mordant.....	16
Figure I.8 : Structure moléculaire d'un colorant à développés ou azoïques insolubles.....	16
Figure II.1 : Schéma de mécanisme de transport de l'adsorbat au sein d'un grain.....	28
Figure II.2 : Classes des isothermes d'après Gilles et al.....	30
Figure III.1: Structure de Rouge Congo (formule chimique: $C_{32}H_{22}N_6Na_2O_6S_2$).....	42
Figure III.2 : Comparaisons de structures de la chitine et du la chitosane.....	42
Figure III.3: Procédé de production du chitosane à partir de l'extraction et de la déacétylation De la chitine dans carapaces des crustacés.....	43
Figure III.4 : La solution mère du rouge Congo.....	43
Figure III.5: La quantité de rouge Congo poudre.....	44
Figure III.6 : Test étalonnage de solution.....	45
Figure III.7 : Test d'effet de temps de contact de colorant avec l'adsorbant.....	46
Figure III.8 : Test d'effet de la quantité de l'adsorbant.....	47
Figure III.9: Test d'effet de PH de solution de RC sur l'adsorption.....	47
Figure III.10: Test d'effet de différente concentration de RC.....	48
Figure IV.1 : Courbe détalonnage du RC a 498 nm.....	52
Figure IV.2 : Cinétique d'adsorption de RC sur chitosane	53
Figure IV.3: l'effet de la masse sur l'adsorption du RC.....	54

Figure IV.4 : Influence du pH sur l'adsorption du RC sur chitosane.....	54
Figure IV.5 : Isotherme d'adsorption de RC sur le chitosane	55
Figure IV.6 : Modèle du pseudo-premier ordre.....	56
Figure IV.7 : Modèle du pseudo-second ordre.....	57
Figure IV.8 : Modèle de diffusion intra-granulaire.....	57
Figure IV.9 : Modélisation linéaire par le modèle de Langmuir du RC sur chitosane.....	59
Figure IV.10 : Modélisation linéaire par le modèle de Freundlich du RC sur Chitosane.....	59

Liste des tableaux

Tableau I.1 : les normes de rejets des effluents liquides selon le JORAD.....	10
Tableau I.2 : Taux de fixation sur textile pour la différente classe de colorants.....	17
Tableau III.1 : propriétés et rôle des produits et des matériels.....	40
Tableau IV.1 : Valeurs de λ_{\max} du colorant.....	52
Tableau IV.2 : Constantes des différents modèles de la cinétique d'adsorption de RC sur chitosane.....	58
Tableau IV.3 : Constantes de la différente modélisation de l'isotherme d'adsorption de Rouge Congo sur chitosane.....	60

Abréviations

K_1 (min^{-1}) : constante de vitesse pour une cinétique de pseudo premier ordre

Q_t (mg.g^{-1}) : capacité d'adsorption l'instant t

q_e (mg.g^{-1}) : capacité d'adsorption à l'équilibre

α ($\text{mg.g}^{-1}.\text{min}^{-1}$) : taux d'adsorption initiale

β (mg.g^{-1}) : la constant reliée a la surface et a l'énergie d'activation de la chimisorption

K_{int} : la constante de la diffusion intra particule en ($\text{mg/g.min}^{1/2}$)

K_2 ($\text{g.min}^{-1}.\text{mg}^{-1}$): constant de vitesse pour une cinétique du pseudo-second ordre

V : volume de la solution (L)

C_0 : Concentration massique de soluté (mg/l)

C_e : Concentration massique de soluté à l'équilibre d'adsorption (mg/l)

m : masse d'adsorption utilisé (g)

C_e : est la concentration à l'équilibre de la d'adsorption dans solution exprimée en (mol/g)

q_{max} : capacité maximale d'adsorption de la monocouche, exprimé en (mg/g)

K_L : Paramètre de Langmuir (l/mg)

K_f et $1/n$: constante de Freundlich caractéristiques de l'efficacité d'un adsorbant

B.E.T : Brunauer-Emmett et Teller

V_{abs} : le volume d'adsorption (ml)

UV-visible : Ultra Violet-Visible

RC : rouge Congo

Introduction générale

À l'époque moderne, les effets de la pollution de l'eau sur l'environnement et la santé publique ne peuvent être ignorés. La pollution de l'eau fait référence à la contamination des sources d'eau naturelles telles que les rivières, les lacs et les océans par des polluants organiques, chimiques et biologiques. L'eau est l'une des ressources vitales les plus importantes sur Terre, indispensable à la vie et utilisée à de nombreuses fins telles que la consommation, l'agriculture et l'industrie. Avec l'augmentation de la croissance démographique et du développement industriel, la demande en eau augmente et les activités qui contribuent à sa pollution augmentent. Les principales sources de pollution de l'eau comprennent les polluants organiques tels que les déchets industriels et les excréments humains, les polluants chimiques tels que les produits chimiques industriels et les pesticides agricoles, ainsi que les polluants biologiques tels que les microbes et les algues. La pollution de l'eau peut dégrader la qualité de l'eau et avoir un impact négatif sur les écosystèmes aquatiques et la vie marine. De plus, elle peut propager des maladies et contaminer les sources d'eau dont dépendent les communautés locales. Pour s'attaquer au problème de la pollution de l'eau, la coopération de toutes les parties prenantes est nécessaire, des gouvernements et des institutions environnementales à la société civile. Des politiques et des procédures efficaces doivent être adoptés pour contrôler les polluants. L'adsorption est l'une des étapes importantes du processus de purification de l'eau et est utilisée pour éliminer les contaminants chimiques de l'eau brute. Le processus d'adsorption dépend de la capacité des matériaux d'adsorption à interagir avec les polluants et à les piéger à leur surface. Le processus d'adsorption implique l'utilisation d'adsorbants spéciaux appelés matériaux polymères. Ces matériaux sont souvent d'origine naturelle ou synthétique et possèdent de fortes concentrations de pores et de tensioactifs actifs. Lorsque l'eau brute traverse ces matériaux, les contaminants présents dans l'eau interagissent et se lient aux surfaces actives de l'adsorbant. Les adsorbants utilisés dans le processus de purification diffèrent selon le type de polluants à éliminer. Ces matériaux sont conçus pour absorber des polluants spécifiques tels que les métaux lourds, les agents organiques polluants, les odeurs indésirables, le chlore et d'autres composés chimiques. Dans notre étude, nous avons traité l'adsorption du rouge Congo en utilisant des matériaux polymères pour éliminer les polluants organiques. L'objectif de cette recherche est d'améliorer le processus d'adsorption du composé organique coloré rouge Congo grâce à l'utilisation de matériaux polymères. Le rouge Congo est un polluant organique qui est rejeté dans l'eau utilisée par diverses industries. Les matériaux polymères ont la capacité d'absorber et

d'éliminer les polluants organiques des solutions aqueuses. Pour cela, notre objectif de travail est focalisé sur l'intercalation de colorant dans les matériaux polymères afin de déterminer les principaux points suivants:

Déterminer l'influence de quelques paramètres tels que: le pH, la masse d'adsorbant, la concentration de colorant.

Etablir et modéliser les isothermes d'adsorption du colorant afin de déterminer les paramètres cinétique de l'adsorption.

A cette fin, notre mémoire est présenté selon le plan suivant :

Après l'introduction, dans le chapitre (I) nous présenterons une mise au point bibliographique sur les généralités sur la pollution et les colorantes synthétiques

Le chapitre (II) phénomène d'adsorption.

Le chapitre (III) sont donnés consiste en les techniques expérimentales d'optimisation de l'adsorption de colorant (Rouge Congo) sur le chitosane

Le chapitre (IV) expose les résultats et discussions d'optimisation de l'adsorption de colorant (Rouge Congo) sur le chitosan et nous terminerons ce travail par une conclusion générale.

Chapitre I : Généralités sur la pollution de L'eau

I.1 Introduction

Dans ce chapitre donne un aperçu du processus d'adsorption. L'adsorption est définie comme un processus interactif dans lequel les molécules de certaines substances sont réunies à la surface d'une autre substance. Le processus d'adsorption joue un rôle important dans un large éventail d'applications scientifiques et techniques, de la purification de l'eau et de la protection de l'environnement aux industries chimiques et pétrolières. Ce chapitre traite des facteurs affectant le processus d'adsorption, tels que la composition de l'adsorbant, la concentration de l'adsorbant, ainsi que la température et la pression du système. Nous découvrirons également les différents types d'adsorption, tels que l'adsorption physique et la chimisorption, et explorerons quelques exemples pratiques d'utilisations courantes du processus d'adsorption.

I.2. Définition de la pollution de l'eau

La pollution de l'eau est définie comme une altération défavorable ou nocive des propriétés physico-chimiques et biologiques, causée directement ou indirectement par les activités humaines, rendant l'eau impropre à une utilisation normale. La pollution peut toucher tous les milieux tels que les fossés, les rivières, les fleuves, les canaux, les lacs, la mer, ainsi que les eaux souterraines. Selon la loi n°3 du 19 juillet 2003, la pollution des eaux est définie comme l'introduction dans le milieu aquatique de toute substance susceptible de modifier les caractéristiques physiques, chimiques et/ou biologiques de l'eau, créant ainsi des risques pour la santé humaine et nuisant à la faune et à la flore terrestres et aquatiques.[1]

I.3. Origines de la pollution d'eaux

I.3.1. Pollution domestique

La pollution domestique, provenant des habitations, est généralement transportée par le réseau d'assainissement jusqu'à la station d'épuration. Elle se caractérise par plusieurs éléments :

- **Germes fécaux** : Ils font référence aux bactéries et micro-organismes présents dans les matières fécales. Ils peuvent être présents dans les eaux usées domestiques et représentent un risque pour la santé humaine et l'écosystème aquatique.

- **Fortes teneurs en matières organiques** : Les eaux usées domestiques contiennent souvent une quantité importante de matières organiques provenant de déchets alimentaires, de produits de nettoyage, etc. La décomposition de ces matières

organiques dans l'eau peut entraîner une diminution de l'oxygène dissous, ce qui nuit à la vie aquatique.

- **Sels minéraux (azote, phosphore)** : Les eaux usées domestiques contiennent des sels minéraux, tels que l'azote et le phosphore, provenant principalement des détergents, des produits chimiques ménagers et des déchets alimentaires. Ces sels minéraux peuvent favoriser la croissance excessive d'algues dans les cours d'eau et les lacs, ce qui perturbe l'équilibre écologique.

- **Détergents** : Les eaux usées domestiques contiennent souvent des résidus de détergents utilisés pour le lavage des vêtements, de la vaisselle, etc. Ces détergents peuvent contenir des produits chimiques qui peuvent être nocifs pour les organismes aquatiques et contribuer à la pollution de l'eau.

Il est important de mettre en place des systèmes d'assainissement efficaces pour réduire l'impact de la pollution domestique sur l'environnement et préserver la qualité de l'eau.

I.3.2. Pollution industrielle

Les usines industrielles sont responsables d'une variété importante de pollution, en fonction de leur utilisation de l'eau dans leurs processus. Tous les produits ou sous-produits des activités humaines se retrouvent ainsi dans l'eau, qui agit comme un solvant efficace. Voici quelques exemples de polluants industriels :

- **Matières organiques et graisses** : Ces polluants proviennent généralement des industries agroalimentaires et des équarrissages.
- **Hydrocarbures** : Ils sont principalement émis par les raffineries pétrolières.
- **Métaux** : Les traitements de surface et la métallurgie sont des sources importantes de contamination par les métaux.
- **Acides, bases et produits chimiques divers** : Les industries chimiques et les tanneries rejettent souvent ces substances chimiques dans l'eau
- **Eau chaude** : Les centrales thermiques utilisent de l'eau pour le refroidissement, et cette eau chaude rejetée peut causer des problèmes environnementaux.
- **Matières radioactives** : Les centrales nucléaires et le traitement des déchets radioactifs sont des sources de contamination par des substances radioactives. Il est essentiel de prendre des mesures pour réduire et contrôler ces

polluants industriels afin de préserver la qualité de l'eau et de protéger l'environnement. [2]

I.3.3.Pollution agricole

La pollution agricole provient des fermes ou des cultures, et se caractérise par les éléments suivants :

Des teneurs élevées en sels minéraux (azote, phosphore, potassium) qui proviennent des engrais, des purins et des lisiers produits par l'élevage. La présence de produits chimiques utilisés pour traiter les cultures, tels que les pesticides et les herbicides. Ces polluants agricoles peuvent avoir des effets négatifs sur l'environnement et la santé publique. Par exemple, l'excès de nitrates dans l'eau peut entraîner la prolifération d'algues qui épuisent l'oxygène dans les plans d'eau, créant des zones mortes où la vie aquatique ne peut pas survivre. Les pesticides peuvent également contaminer les sources d'eau potable, ainsi que les sols et les plantes qui sont destinés à l'alimentation humaine et animale. Pour limiter ces effets néfastes, il est important d'adopter des pratiques agricoles durables, telles que la rotation des cultures, l'utilisation de techniques de culture sans labour, et la gestion raisonnée des engrais et des pesticides. Des programmes de sensibilisation peuvent également être mis en place pour encourager les agriculteurs à adopter des pratiques plus durables et écologiques. [3]

I.4. Différents types de la pollution d'eaux

I.4.1. Pollution organique

La pollution par les matières organiques est répandue et provient des déchets de certaines industries agroalimentaires. Elle contient des substances biodégradables telles que le sucre et les protéines, ainsi que des substances toxiques comme les phénols, les hydrocarbures, les tensioactifs et les pesticides. Cette pollution entraîne une diminution de l'oxygène disponible dans l'environnement. [4]

I.4.2.Pollution biologique

La pollution microbiologique de l'eau est causée par la présence de microorganismes pathogènes tels que les virus, les parasites et les bactéries. Cela peut entraîner des risques pour la santé des êtres humains et des animaux. [5]

I.4.3. Pollution thermique

La pollution thermique se produit lorsque la température de l'eau est modifiée par rapport à son état normal en raison de l'activité humaine. Bien qu'elle ne soit pas toujours considérée comme une pollution évidente, elle peut avoir des effets néfastes sur la vie aquatique. Elle est principalement causée par les rejets d'eaux chaudes provenant des systèmes de refroidissement des centrales électriques classiques ou nucléaires. [6]

I.4.4. Pollution radioactive

La pollution radioactive résulte de l'introduction d'éléments radioactifs dans l'environnement par l'activité humaine. Cela peut entraîner des risques pour la santé humaine, des dommages aux ressources biologiques, aux écosystèmes et aux biens matériels, ainsi que des restrictions à l'utilisation appropriée de l'environnement. [7]

I.4.5. La pollution chimique

La pollution chimique se produit lorsque des substances chimiques sont déversées dans l'environnement, que ce soit directement ou indirectement, par le biais d'activités de production et de fabrication. Cela est principalement généré par les secteurs industriel et agricole. [8]

I.4.6. La pollution agricole

Cette pollution est causée principalement par l'utilisation irrationnelle des engrais Chimiques et les pesticides. [9]

I.4.6.1. Pesticides

Les pesticides sont des substances utilisées pour lutter contre les organismes nuisibles aux cultures. Ils comprennent les insecticides, les fongicides, les herbicides et les parasitocides. Ces produits, ainsi que leurs dégradations et métabolites, peuvent contaminer l'eau, le sol et l'air de l'environnement. [10]

I.4.6.2. Engrais chimique

Les engrais sont utilisés pour apporter des nutriments supplémentaires aux plantes afin d'améliorer leur croissance et leur rendement. Cependant, une utilisation excessive d'engrais peut entraîner la pollution de l'eau potable et l'eutrophisation des eaux, perturbant les écosystèmes aquatiques. [11]

I.5.Paramètres de la qualité de l'eau

I.5.1.Paramètres physiques

- **Température**

L'augmentation de la température de l'eau due aux eaux usées industrielles, notamment celles provenant des industries agroalimentaires et des centrales nucléaires, peut entraîner une pollution de l'environnement aquatique. Lorsque de l'eau propre mais chaude est déversée dans un milieu naturel, cela peut avoir des conséquences néfastes. L'élévation de la température réduit la teneur en oxygène dissous, perturbant la survie des organismes aquatiques et provoquant des déséquilibres dans les populations. De plus, l'eau chaude favorise la croissance excessive d'algues et d'autres organismes, entraînant une eutrophisation et un déséquilibre écologique. Il est donc essentiel de contrôler et de réguler la température des eaux usées industrielles afin de prévenir la pollution thermique. [12]

- **Odeur**

L'odeur est la sensation perçue par l'organe olfactif lors de l'inhalation de substances volatiles. Dans le cas de l'eau destinée à la consommation, elle ne doit pas avoir d'odeur, car toute odeur indique une possible pollution ou la présence de matière organique en décomposition. Même en quantités minimales, ces substances ne peuvent pas être détectées par les méthodes d'analyse conventionnelles. [13]

- **Couleur**

la coloration de l'eau peut être d'origine naturelle, liée à l'eutrophisation ou causée par des polluants chimiques tels que des colorants, des phénols et des pigments chlorophylliens provenant de l'industrie agroalimentaire. [9]

- **Turbidité**

La turbidité de l'eau est causée par la présence de particules solides en suspension, telles que les argiles, les limons, les grains de silice et la matière organique. Elle est mesurée en fonction de l'obstruction de la lumière à travers l'eau et constitue un indicateur de la quantité de matières en suspension présentes dans l'eau. [13]

- **Débit**

Le débit est la quantité d'eau qui traverse une section d'un cours d'eau pendant un laps de temps donné, tandis que le débit total représente la moyenne annuelle du débit, y compris les crues les plus extrêmes. [5]

- **Matières en suspension**

Les particules solides fines présentes dans l'eau déterminent sa turbidité. Elles limitent la pénétration de la lumière, réduisent la teneur en oxygène dissous et ont un impact sur la vie aquatique. Leur mesure permet d'estimer la teneur en matières colloïdales, qu'elles soient d'origine minérale ou organique. Les concentrations de matières en suspension dans l'eau sont variables et servent d'indicateur du degré de pollution des eaux résiduaires, qu'elles proviennent de sources urbaines ou industrielles. [14]

I.5.2. Paramètres chimiques

- **pH**

Le pH est un indicateur du caractère acide, neutre ou alcalin de l'eau. Les valeurs de pH entre 5 et 9 sont généralement considérées comme favorables au développement de la flore et de la faune aquatique. Cependant, des variations extrêmes du pH peuvent avoir des conséquences négatives sur les organismes aquatiques. La tolérance au pH varie également entre les espèces de poissons, rendant difficile l'établissement de critères précis pour la vie et la reproduction des poissons.

- **Conductivité**

La conductivité est une mesure de la capacité d'un matériau à conduire un courant électrique. Dans le cas des solutions, cela dépend de la concentration, de la mobilité et de la valence des ions, ainsi que de la température. Chaque substance possède une conductivité spécifique, allant des faibles conductivités pour les eaux ultra pures aux fortes conductivités pour les échantillons chimiques concentrés.

- **Oxygène dissout**

L'oxygène dissout est crucial pour la vie dans l'eau. Sa solubilité varie en fonction de la température de l'eau, de la pression atmosphérique et de l'altitude. Les organismes aquatiques dépendent de niveaux adéquats d'oxygène dissout pour leur respiration et leur survie.

- **Demande chimique en oxygène (DCO)**

La demande chimique en oxygène (DCO) est une mesure qui évalue la quantité d'oxygène nécessaire pour oxyder chimiquement les matières oxydables présentes dans l'eau. Elle est largement utilisée pour évaluer la pollution d'un effluent industriel et est exprimée en milligrammes ou en grammes d'oxygène consommés par unité de volume d'eau.

- **DBO5**

La demande biochimique en oxygène à 5 jours (DBO5) est une mesure qui évalue la quantité d'oxygène consommée par les microorganismes lors de la dégradation biologique des matières organiques dans un échantillon d'eau. Elle est utilisée pour évaluer la pollution organique et est exprimée en milligrammes ou en grammes d'oxygène consommés par unité de volume d'eau. La DBO5 se différencie de la DCO par sa focalisation sur la dégradation biologique et en excluant les substances non dégradables microbiologiquement.

- **Rapport DCO/DBO comme indice de biodégradabilité**

Le rapport DCO/DBO est utilisé comme un indicateur général de la biodégradabilité d'un effluent. Un rapport inférieur à 3 suggère une facilité de dégradation biologique et indique que des méthodes de traitement biologique peuvent être efficaces pour éliminer la pollution organique. Cependant, d'autres facteurs doivent également être pris en compte pour une évaluation plus précise de la biodégradabilité et pour concevoir des systèmes de traitement appropriés. [15]

I.6. Norme nationale selon le journal officiel de la république Algérienne et Démocratique (JORAD)

Les normes de rejets des effluents industriels résultent de la loi n° 8317 du 16 Juillet 1983 Portant code des eaux, de l'ordonnance n° 9613 du 15 Juin 1996 modifiant et complétant la Loi n° 8317, du décret exécutif n° 93160 du 10 Juillet 1993 réglementant les rejets d'effluents Liquides des industriels et du décret exécutif n° 06141 du 19 avril 2006 de la république Algérienne démocratique définissant les valeurs limites des rejets d'effluents liquides Industriels (Voir le tableau I.1).

Tableau 2 : les normes de rejets des effluents liquides selon le JORAD.

Paramètres	Unités	Valeurs limites
Température	°C	30
PH		6.5-8.5
DBO5	mg/l	30
DCO	mg/l	120
MES	mg/l	35
Azote total	mg/l	30
Phosphore total	mg/l	10
Furfural	mg/l	50
Hydrocarbures	mg/l	10
Plomb	mg/l	0.5
Fer	mg/l	3
Mercure	mg/l	0.01
Cuivre	mg/l	0.5
Zinc	mg/l	3

I.7. Généralités sur les colorants

Un colorant est une substance qui possède une couleur intrinsèque et qui a la capacité de se lier à un support. La coloration plus ou moins intense des différentes substances est déterminée par leur composition chimique. En effet, un colorant est un composé organique doté de trois groupes fondamentaux dans sa molécule : le chromophore, l'auxochrome et la matrice. Le site actif du colorant est le chromophore, qui se compose de groupes d'atomes capables d'absorber l'énergie lumineuse. Les groupes d'atomes les plus couramment utilisés en

chromophores sont le nitro ($-\text{NO}_2$), le diazo ($-\text{N}=\text{N}-$), le nitroso ($-\text{N}=\text{O}$), le thiocarbonyl ($-\text{C}=\text{S}$), le carbonyl ($-\text{C}=\text{O}$) et les alcènes ($-\text{C}=\text{C}-$). L'absorption des ondes électromagnétiques par le chromophore est due à l'excitation des électrons dans une molécule, ce qui la rend chromogène. La molécule chromogène n'est toutefois pas apte à la teinture sans l'ajout d'autres groupements d'atomes appelés « auxochrome ». Ces groupes auxochrome permettent la fixation des colorants et peuvent modifier leur couleur. Ils peuvent être acides (COOH , SO_3 , OH) ou basiques (NH_2 , NHR , NR_2). Les autres atomes de la molécule constituent la matrice, qui est la troisième partie du colorant. [16]

I.8.Famille des colorants

I.8.1.Les colorants naturels: sont utilisés depuis l'Antiquité et étaient souvent extraits de plantes telles que les garrans, les glands, les lichens et les fleurs bleues, d'animaux tels que l'abeille et la sauge, de minéraux tels que le lapis-lazuli et la turquoise, et parfois de fruits tels que baies.

I.8.2.Les colorants synthétiques: sont apparus il y a quelques siècles, en raison du grand développement du domaine de la chimie dans le monde. C'est un marché très important aujourd'hui en raison de la demande croissante. [17]

I.9.Classification des colorants La classification des pigments selon leur structure chimique dépend de la nature du groupe de chromophores qu'ils contiennent. [18][19]

I.9.1.Classification chimique La classification des pigments selon leur structure chimique dépend de la nature du groupe de chromophores qu'ils contiennent.

- **.Les colorants azoïques**

Les colorants azoïques sont caractérisés par la présence d'un groupe azoïque ($-\text{N}=\text{N}-$) qui lie deux noyaux benzéniques dans leur molécule. Cette classe de pigments de couleur est actuellement la plus répandue en termes d'application, représentant plus de 50% de la production totale de pigments dans le monde.

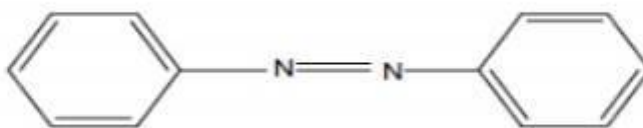


Figure I.1:Structure moléculaire d'un colorant azoïque.

- **Les colorants anthraquinoniques**

Les colorants anthraquinoniques sont les plus importants commercialement après les colorants azoïques. Il se distingue par sa structure générale dérivée de l'anthracène, car le chromophore est constitué d'un noyau quinone auquel des groupes hydroxyle ou amino peuvent se joindre.

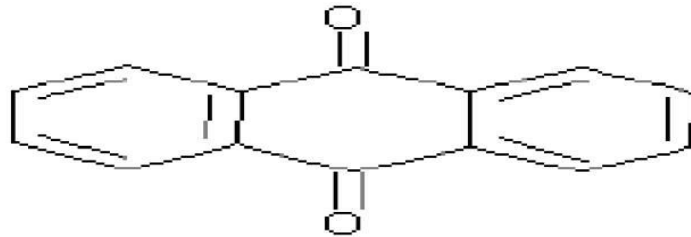


Figure I.2: Structure moléculaire d'un colorant anthraquinoniques.

- **Les colorants Phtalocyanines**

La structure des colorants phtalocyanine dépend de la présence d'un atome de cuivre au centre. Les colorants de ce groupe sont obtenus en faisant réagir du dicyanobenzène avec des halogénures métalliques (cuivre, nickel, cobalt, platine et autres).

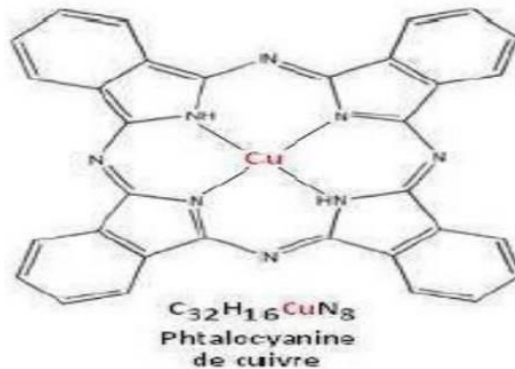


Figure I.3 : Structure moléculaire d'un colorant phtalocyanine.

- **Les colorants nitrés et nitrosés**

Les pigments nitrés et nitreux constituent un groupe très restreint de pigments et sont relativement anciens. Il est encore utilisé jusqu'à présent, en raison de son prix relativement bas et de la simplicité de sa structure moléculaire, qui se distingue par la présence d'un groupe nitro (-NO₂) en position ortho du groupe donneur électrique (hydroxyle ou amine groupes).

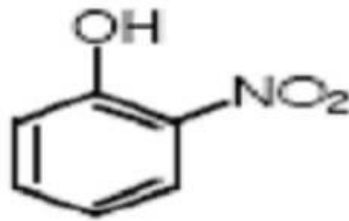


Figure I.4: Structure moléculaire d'un colorant nitré et nitrosé.

I.9.2. Classification tinctoriale

La classification chimique est importante pour les fabricants de colorants, mais les teinturiers préfèrent la classification en fonction des domaines d'application. Ainsi, des informations sont données sur la solubilité du colorant dans le bain de teinture, sa capacité à se lier à diverses fibres et la nature de la fixation. La force de fixation varie selon le type de liaison entre le colorant et le matériau de base, qu'elle soit ionique, hydrogène, van der Waals ou covalente. Les colorants se distinguent par différentes classifications, qui sont déterminées cette fois en fonction des composés auxiliaires de coloration.

- **Les colorants acides ou anioniques**

Les colorants acides ou anioniques se caractérisent par leur solubilité dans l'eau, grâce à leur présence sous forme de groupements sulfonate ou carboxylate. Ce nom a été choisi car ces colorants sont utilisés pour teindre des fibres animales (comme la laine et la soie) et certaines fibres synthétiques modifiées (comme le nylon et le polyamide) dans un bain d'eau légèrement acide. L'attractivité du colorant pour les fibres dépend des liaisons ioniques entre la partie acide sulfonique du colorant et les groupes amine des fibres textiles.

- **Les colorants basiques ou cationiques**

Les colorants basiques ou cationiques sont composés de sels d'amines organiques, et ont donc une bonne solubilité dans l'eau. Des liaisons se forment entre les sites cationiques des colorants et les sites anioniques des fibres textiles. Alors que ces colorants étaient sur le point de disparaître dans la teinture de la laine et de la soie, ils ont retrouvé leur popularité avec l'avènement des fibres synthétiques, qui permettent des teintes vives et durables sur ces fibres.

- **Les colorants de cuve**

Les colorants réfractaires sont insolubles et doivent être convertis en dérivés de leucodes par réduction basique. Le processus de teinture se termine par la réoxydation du

colorant à son site insoluble d'origine. Les colorants réfractaires sont connus pour leur bonne résistance aux agents dissolvants, et ils sont encore utilisés aujourd'hui dans la teinture de vêtements tels que les jeans, similaire à la teinture indigo.

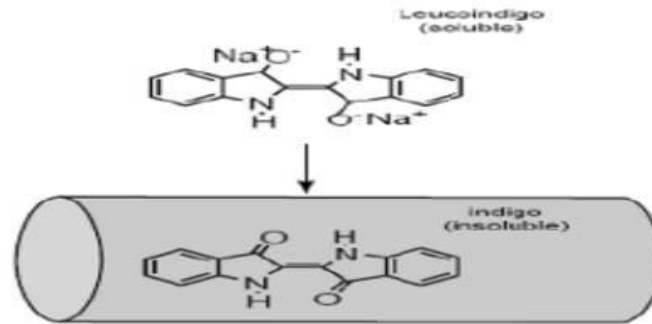


Figure I.5: Structure moléculaire d'un colorant de cuve.

- **Les colorants directs**

Les colorants directs se caractérisent par leur capacité à former des charges positives ou négatives attirées électrostatiquement par les charges des fibres textiles. Ces colorants se caractérisent par leur adhésion aux fibres sans qu'il soit nécessaire d'appliquer des fixateurs, du fait de la structure plate de leurs particules.



Figure I.6 : Structure moléculaire d'un colorant direct.

- **Les colorants à mordants**

Les colorants pour fixateurs comprennent généralement un ligand fonctionnel capable de réagir vigoureusement avec un sel d'aluminium, de chrome, de cobalt, de cuivre, de nickel ou de fer pour former divers composés colorés avec le tissu.

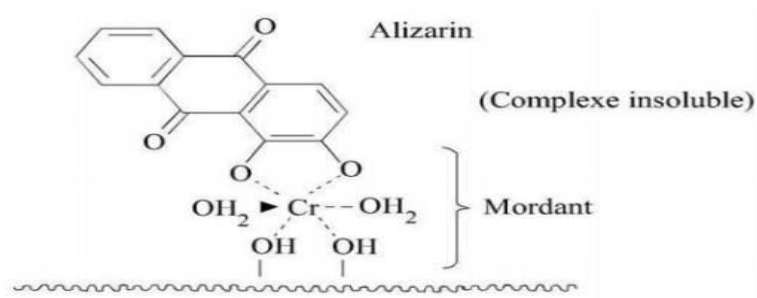


Figure I.7: Structure moléculaire d'un colorant à mordant.

- **Les colorants réactifs**

Ces pigments contiennent des groupes chromophores dérivés principalement des familles des azoïques, des anthraquinones et des phtalocyanines. Son nom est lié à la présence d'une fonction chimique réactive du type triazine ou phénylsulfone qui assure la formation d'une forte liaison de covalence avec les fibres. Il est soluble dans l'eau et est de plus en plus utilisé pour teindre le coton et éventuellement la laine et les polyamides.

- **Les colorants développés ou azoïques insolubles**

Ces colorants sont formés directement sur les fibres textiles. Dans un premier temps, le support tissulaire est saturé d'une solution de naphthol ou de copulant. Ensuite, le sulfate de diazonium est traité avec les composés précédents, après quoi une réaction de fusion est appliquée qui conduit immédiatement à la formation du colorant azoïque. Ces pigments se caractérisent par la capacité à fournir des nuances de couleur vives et variées.

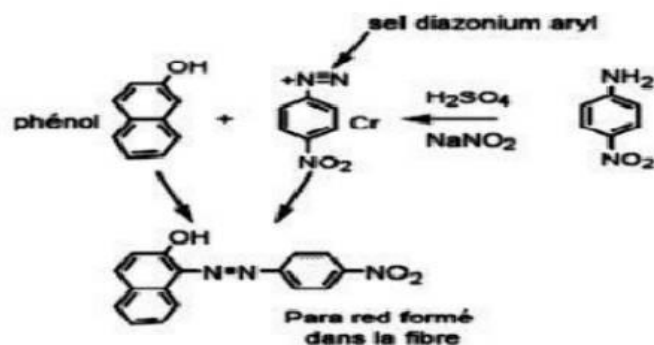


Figure I.8: Structure moléculaire d'un colorant à développés ou azoïques insolubles.

- **Les colorants dispersés**

Les colorants dispersés sont des colorants organiques de faible poids moléculaire contenant généralement des groupes azoïques, amino et hydroxyle. Ils ont la particularité de se disperser sous forme de petites particules dans l'eau de teinture grâce à l'ajout d'un agent dispersant. Lors de la teinture, ces particules pénètrent dans les fibres synthétiques telles que le polyester et s'y fixent à l'aide des groupes amino et hydroxyle, formant ainsi une liaison chimique stable. Les colorants dispersés sont donc particulièrement adaptés à la teinture des fibres synthétiques hydrophobes, telles que le polyester, qui ne peuvent pas être teintés facilement avec des colorants solubles dans l'eau.

I.10. Utilisation et application des colorants

Dans l'industrie textile pour teindre les fibres et les tissus, mais aussi dans d'autres secteurs tels que l'industrie alimentaire pour colorer les aliments, l'industrie cosmétique pour colorer les produits de maquillage, l'industrie pharmaceutique pour colorer les médicaments, l'industrie de la peinture pour la production de peintures et de pigments, l'industrie de l'impression pour l'impression d'images et de textes sur divers supports, l'industrie du papier pour colorer les papiers et cartons, et l'industrie de la plasturgie pour colorer les matières plastiques. [20]

I.11. Procédés de traitement des colorants

Lors des différentes étapes de teinture, des quantités variables de colorants sont perdues car ces derniers ne se fixent pas correctement sur les surfaces à teindre ou à colorer, comme indiqué dans le tableau I-1. Ces rejets contiennent des substances toxiques qui nécessitent une technique de dépollution adaptée. En raison de la composition hétérogène des rejets textiles, leur traitement requiert une chaîne de traitement conçue pour éliminer les différents polluants par étapes successives. La première étape consiste à éliminer les polluants insolubles par le biais de prétraitements tels que le dégrillage, le dessablage, le déshuilage, etc., ainsi que des traitements physiques ou physico-chimiques assurant la séparation solide-liquide. Les techniques de dépollution les plus couramment utilisées dans les industries textiles interviennent en deuxième étape et se divisent en trois catégories (Voir le tableau I.2). [21]

Tableau (I.2) : Taux de fixation sur textile pour les différentes classes de colorants.

Classe de colorant	Degré de fixation (%)	Fibre utilisée
Acide	80-93	Laine, nylon
Azoïque	90-95	Cellulose
Basique	97-98	Acrylique
De cuve	80-95	Cellulose
Direct	70-95	Cellulose
Disperse	80-92	Synthétique
Réactif	50-80	Cellulose
Soufre	60-70	Cellulose

❖ **Traitement Physique:** qui comprend :

- les méthodes de précipitation (coagulation, floculation, sédimentation),
- l'adsorption,
- l'osmose inverse, filtration,
- l'incinération.

❖ **Traitement Chimique:** et qui incluse l'utilisation de :

- l'oxydation classique (oxygène, ozone, oxydants tels que NaOCl, H₂O₂),
- la réduction par (Na₂S₂O₄),
- la méthode compleximétrique,
- Résine l'échangeuse d'ions.

❖ **Biologique:**

- le traitement aérobie.
- le traitement anaérobie.

I.12.Procédés d'élimination des colorants

De nombreuses techniques de dépollution des effluents chargés en colorants sont développées Au cours de ces dernières années. Parmi ces techniques on peut citer quelques procédés Chimiques et physico chimique :

I.12.1.Procédés chimiques

I.12.1.1.Les procédés d'oxydation classique

Les techniques d'oxydation classique, telles que l'utilisation de l'hypochlorite de sodium, l'ozone et le peroxyde d'hydrogène, sont couramment employées pour éliminer les polluants organiques, y compris les colorants, des effluents. Elles permettent de produire des sous-produits dégradables par les microorganismes, ce qui est particulièrement utile pour les colorants toxiques qui résistent à la biodégradation. L'oxydation à l'ozone et au peroxyde d'hydrogène est souvent utilisée en complément ou en compétition avec d'autres méthodes comme l'adsorption sur charbons actifs ou la nano filtration. Ces techniques offrent une mise en œuvre relativement simple et efficace dans le traitement des eaux polluées par des colorants. [22]

•L'hypochlorite de sodium

L'hypochlorite de sodium (NaOCl) cible spécifiquement la fonction amine des colorants, ce qui provoque la destruction accélérée du motif azoïque. Cependant, son utilisation dans le traitement des eaux usées est de moins en moins courante en raison de ses effets indésirables, tels que la formation de composés cancérigènes tels que les amines aromatiques et les organochlorés. Ces inconvénients ont conduit à son remplacement par d'autres oxydants, tels que l'ozone, dans les processus de traitement. [23]

•L'ozone

L'ozone est un oxydant extrêmement puissant, principalement en raison de sa grande instabilité. L'ozonation est particulièrement adaptée à la dégradation des molécules de colorants qui contiennent des liaisons doubles, car leur destruction conduit à la formation de molécules plus petites. Les sous-produits résultant de l'oxydation à l'ozone ont l'avantage d'être biodégradables, ce qui facilite leur élimination ultérieure. [24]

•Le peroxyde d'hydrogène

Le peroxyde d'hydrogène (H_2O_2) est largement utilisé dans les procédés d'oxydation pour décolorer les colorants. Cependant, sa stabilité nécessite l'utilisation d'un agent d'activation. L'efficacité des méthodes d'oxydation avec du peroxyde d'hydrogène varie selon l'agent d'activation, tels que l'ozone, les rayons UV et les sels ferreux. Ces agents améliorent l'efficacité de l'oxydation, facilitant ainsi la dégradation des colorants dans les effluents. [23]

•Les procédés d'oxydation avancée (POA)

Les POA (Processus d'Oxydation Avancée) englobent des méthodes chimiques, photochimiques et électrochimiques. Ces méthodes ont connu un développement important au cours des trois dernières décennies. Elles visent à dégrader les molécules de colorants en dioxyde de carbone (CO_2) et en eau (H_2O) en utilisant le rayonnement ultraviolet (UV) en présence de peroxyde d'hydrogène (H_2O_2). [24]

•Procédé d'oxydation avancée chimique : Réaction de Fenton

Le réactif de Fenton est une méthode de traitement de l'eau utilisant du peroxyde d'hydrogène activé par un sel ferreux. Cette méthode est adaptée pour traiter les effluents contenant des colorants résistants à la biodégradation ou toxiques vis-à-vis des microorganismes. Elle a gagné en popularité ces dernières décennies dans le traitement des eaux usées. [23]

Procédés d'oxydation avancée électrochimique

Le traitement des effluents colorés par électrochimie est considéré comme une option plus intéressante, car ce procédé offre une bonne efficacité technique et économique. En effet, les effluents traités par ce procédé ne présentent généralement aucun danger pour les organismes vivants, et sa mise en œuvre nécessite peu, voire pas du tout, l'utilisation de réactifs chimiques. Cela en fait une solution prometteuse pour le traitement des eaux usées colorées, offrant à la fois des avantages environnementaux et économiques. [25]

•Procédés d'oxydation avancée photochimique

La photo dégradation des colorants peut se produire en présence ou en l'absence de catalyseurs et/ou d'agents oxydants tels que le peroxyde d'hydrogène ou l'ozone. Cette réaction peut aboutir à la minéralisation complète de la molécule polluante. Ce phénomène est principalement dû à l'action des radicaux hydroxyles, qui sont des espèces chimiques hautement réactives produites lors de la réaction de photolyse. [24]

I.12.2. Procédés physicochimiques

I.12.2.1. La coagulation-précipitation

La méthode de coagulation-floculation-décantation consiste à éliminer les colorants en ajoutant des cations trivalents tels que Fe^{3+} ou Al^{3+} . Cela permet de neutraliser la charge superficielle des particules colloïdales, ce qui entraîne leur déstabilisation, leur agglomération en micro flocs, puis en flocons volumineux et décan table. Des coagulants minéraux ou organiques cationiques peuvent être utilisés. [26]

I.12.2.2. Les techniques membranaires

Les procédés membranaires sont des techniques de séparation basées sur la perméation à travers une membrane sous l'effet d'un gradient de pression. Ces procédés permettent la séparation en fonction de la taille moléculaire des composés, ainsi que de leur forme, leur structure, leur polarisabilité, leur solubilité, la présence de Co-solutés, le matériau et la configuration de la membrane, les paramètres opératoires, les phénomènes de colmatage, etc. Les techniques membranaires comprennent la microfiltration, l'ultrafiltration, la nano filtration et l'osmose inverse. Parmi elles, l'ultrafiltration et la nano filtration sont particulièrement efficaces pour l'élimination de différentes classes de colorants. [27][28]

I.12.2.3. L'échange d'ions

L'échange d'ions est un processus par lequel un matériau solide, tel que des résines échangeuses d'ions, attire un ion positif ou négatif d'une solution et libère un autre ion de même signe. Ce procédé est utilisé dans le traitement des eaux pour les effluents contenant des colorants. Les résines échangeuses d'ions permettent de capturer les ions colorants présents dans l'eau, les remplaçant par d'autres ions présents dans la résine. Cela permet d'éliminer efficacement les colorants de l'effluent, contribuant ainsi à sa purification. [25]

Conclusion

Pour conclure, la question relative à la pollution de l'eau est capitale et la Responsabilité de chacun à tous les niveaux. L'eau patrimoine commun fragile et limitée, dont La dégradation de protection et de gestion reste une préoccupation dans tous les secteurs.

Référence bibliographique

[1] Schmitzberger K, La prévention des pollutions, la pollution de l'eau, édition agence de l'eau, Rhin-Meuse, p127-130 ; (2008).

[2]Gaujous D, La pollution des milieux aquatiques, aide-mémoire.2e édition.11, rue Lavoisier.200 p ;(1995).

[3] Cotebleue, pollution agricole, disponible sur <http://www.cotebleue.org>, consulté le (13/4/2023).

[4] Pesson P, .pollution des eaux continentales, Edition bordas, Paris.p 285. (1976)

[5]Ramade F, dictionnaire encyclopédique de l'eau. Édition Dunod, Paris 760(2008).

[6] Pesson P, pollutions des eaux continentales, Édition bordas, Paris.p 285. , (1976).

[7]OudizB, Cessac J.BrenotJ.P.Magné., Santucci, M.C. Robé P. Charbonneau, Gestion des sites industriels potentiellement contaminés par des substances radioactives. Réalisé par l'IPSN pour le compte des ministères de l'Environnement et de la Santé. , (2000).

[8]Kebaili Z, khelfane C., Contribution à l'analyse de la qualité des effluents liquides au niveau de l'Entreprise Nationale des Industries de l'Electroménager (ENIEM). Mémoire de fin d'étude, spécialité : Photologie des écosystèmes .UMMTO.56 p ; (2013).

[9]Gaujous D, la pollution des milieux aquatiques, aide-mémoire.2e édition.11, rue Lavoisier.200 p., (1995).

[10] Brissaud F, Heurteaux P, Podlejski J, Moutonnet P., (1982). Transferts dispersifs et propagation de pesticides dans un sol de riziére inondée ;Jornal of hydrology volume 57,P 233-245

[11] Schrock R., Nitrogen Fix, dans Technology Review Massachusetts Institute of Technology, Etats-unis.210 p (2006).

[12]MolittaR., le traitement des déchets.Éditions Tec & Doc – Lavoisier. p 712(2009).

[13]Rodier J et coll., (2005).Analyse des eaux : l'eau naturelle l'eau, résiduaire, l'eau de mer 8e édition, Dunod, Paris.p 1383 Rodier J., Analyse des eaux (2009).

[14]Abdellatif H., Traitements de l'eau source bousa fer, mémoire de fin d'étude (licence).université des sciences et de la technologie, Oran.100 p. (2006).

[15] Cpepesc, paramètres physiques et chimiques des eaux, disponible sur <https://cpepesc.org/>, consulté le (15/04/2023)

[16] Benmakhlouf. T et Bouiche. M, Elimination d'un colorant textile basique (Rouge azucryl) par des rejets de phosphates de Djebel-Onk (Tébessa, Algérie), Mémoire master, Université A. MIRA - Bejaia -. (2015).

[17] Khaoula Sehaïlia & Fatma Talbi, Etude d'adsorption du Rouge Congo en phase aqueuse sur les feuilles de palmier, Mémoire de master, Université Kasdi Merbah Ouargla, , page 4,6,16,17,19,(2019)

[18] A. Abdessemed, Etude de l'élimination de l'éthyle violet par adsorption sur la kaolinite et le charbon actif et par des méthodes photochimiques en milieu aqueux, Magister, université Mentouri, Constantine, (2009).

[19] N. Barka l'élimination des colorants de synthèse par adsorption sur un Phosphate naturel et par dégradation photocatalytique sur TiO₂ supporté, thèse de Doctorat, université Ibn Zohr Agadir,(2008).

[20] M.N Crepy. "Dermatoses professionnelles aux colorants", Fiche d'allergologie dermatologie professionnelle hôpital Cochin, (2004).

[21] E. Errais, Réactivité de surface d'argiles naturelles. Etude de l'adsorption de colorants anioniques, thèse de Doctorat, université de Strasbourg, (2011).

[22] G. Crini, P.-M. Badot, N. Morin-Crini, G. Torri. Les principales techniques d'épuration des eaux industrielles polluées : une revue récente des méthodes proposées dans la littérature In: G. Crini, P.-M. Badot. Traitement et épuration des eaux industrielles polluées. Paris (2007).

[23] Y.M. Slokar, A.M. LE Marechal. Methods of Decoloration of Textile wastewaters. Dyes and Pigments, 37 (1998) 335-356.

[24] O. Joseph. Etude du potentiel d'utilisation de résidus agricoles haïtiens pour le traitement par biosorption d'effluents pollués, Thèse doctorat, chimie de Lyon (2009)

[25] T. Robinson, G. Mcmulian, R. Merchant, P. Nigam. Remediation of dyes in textile effluent: a critical review on current treatment technologies with a proposed alternative. Bioresource Technology, 77 (2001) 247-255.

[26] I. Kabdsali, M. Gurel, O. Tunay. Characterization and treatment of textile printing wastewaters. *Environmental Technology*, 21 (2000) 1147-1155.

[27] N.P. Cheremisinoff. *Handbook of Water and Wastewater Treatment Technologies*. Butterworth-Heinemann, Boston, 2002.

[28] S.A. Avlonitis, I. Poullos, D. Sotiriou, M. Pappas, K. Moutesidis. Simulated cotton dye effluents treatment and reuse by nanofiltration. *Desalination* 221 (2008) 259–267.

[29] T.A. Kurniawant, G.Y.S. Chan, W.-H. LO, S. Babel. Comparisons of low-cost adsorbents for treating wastewaters laden with heavy metals. *Science of the Total Environment*, 366 (2006) 409-426.

Chapitre II : Discussion sur l'adsorption

II.1.Introduction

L'adsorption est définie comme un processus interactif dans lequel les molécules de certaines substances sont réunies à la surface d'une autre substance. Le processus d'adsorption joue un rôle important dans un large éventail d'applications scientifiques et techniques, de la purification de l'eau et de la protection de l'environnement aux industries chimiques et pétrolières. Ce chapitre traite des facteurs affectant le processus d'adsorption, tels que la composition de l'adsorbant, la concentration de l'adsorbant, ainsi que la température et la pression du système. Nous découvrirons également les différents types d'adsorption, tels que l'adsorption physique et la chimisorption, et explorerons quelques exemples pratiques d'utilisations courantes du processus d'adsorption.

II.2. Définition

L'adsorption est un phénomène de frontière, un phénomène physique représenté par l'immobilisation de particules d'adsorbant à la surface d'un solide qui affecte la distribution et les propriétés des matières dissoutes ou en suspension. L'adsorption peut se produire entre un solide et un liquide (gaz ou liquide). La fixation des particules d'un adsorbant à la surface d'un solide (adsorbant) résulte de l'interaction gravitationnelle entre l'adsorbant et l'adsorbat, et s'exprime par des liaisons de VAN DER WAALS, qui se caractérisent par des liaisons électrostatiques de faible densité, avec des énergies d'interaction allant de 5 à 40 kJ/mol. [1]

II.3. types d'adsorption

Les forces d'adsorption dépendent de l'importance des énergies qui se superposent entre l'adsorbant et le solide, ces forces peuvent donc être naturelles ou chimiques, ce qui conduit à deux types d'adsorption : l'adsorption physique (adsorption physique) et l'adsorption chimique (adsorption chimique).

II.3.1.Adsorption physique

La physisorption, également connue sous le nom d'adsorption physique, implique des interactions très faibles entre les entités moléculaires telles que les forces d'attraction de Van der Waals et les forces dues aux interactions électrostatiques de polarisation. Elle est réversible et peu spécifique. La physisorption est rapide, mais généralement limitée par les phénomènes de diffusion. [2]

II.3.2. Adsorption chimique

La chimisorption est un phénomène irréversible causé par une liaison chimique forte de type covalent entre les atomes superficiels du solide et les molécules adsorbées. Ce type d'adsorption implique des énergies d'attraction élevées, ce qui entraîne des chaleurs d'adsorption élevées. [2]

II.4. Cinétique d'adsorption

Les lois précédentes concernent les états d'équilibre, c'est-à-dire la limite qui ne peut être dépassée pour C si l'on laisse suffisamment de temps aux processus pour se dérouler jusqu'à leur fin. Cependant, il existe un autre aspect à prendre en compte, à savoir la vitesse de déroulement des processus avant d'atteindre le site actif. Cette vitesse est contrôlée par :

- Les conditions de transfert des molécules du corps à adsorber du sein du liquide jusqu'à la surface d'adsorbant.
- La concentration du soluté à adsorber.
- La surface offerte, qui est liée à la quantité de corps adsorbant et à sa surface spécifique (m²/g).

L'équilibre thermodynamique entre l'adsorbat en phase liquide et l'adsorbat fixé sur le Solide est atteint avec une vitesse qui dépend non seulement de la vitesse avec laquelle les Constituants du mélange à séparer diffusent dans l'adsorbant et dans le fluide mais aussi de L'interaction adsorbant- adsorbat.

L'étude cinétique de l'adsorption est souhaitable car elle fournit des informations au

Sujet du mécanisme de l'adsorption importante pour l'efficacité du processus. [3]

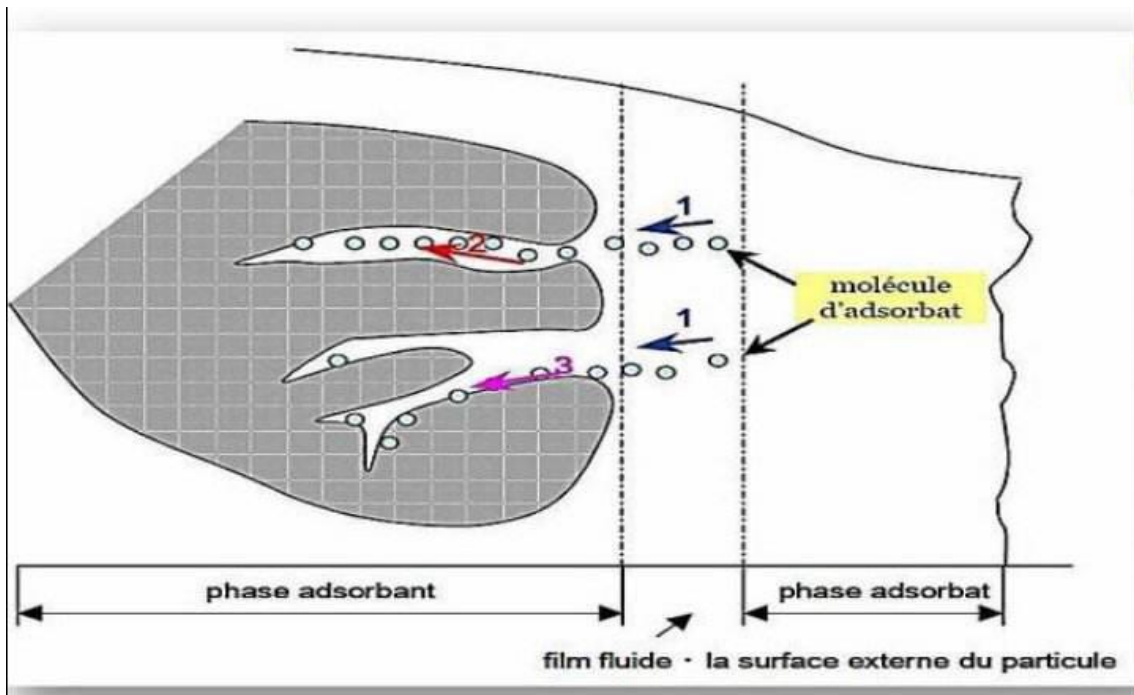


Figure II.1 : Schéma de mécanisme de transport de l'adsorbant au sein d'un grain: 1- diffusion externe, 2-diffusion interne (dans les pores), 3- diffusion de surface. [2]

II.4.1.Modèle cinétique du pseudo-premier ordre (Modèle Lagergren)

En 1898, Lagergren a proposé un modèle cinétique de pseudo-premier ordre, exprimé par la relation (II .1)

$$dq_t/dt = K_1 (q_e - q_t) \dots\dots\dots (II.1)$$

Où :

k_1 (min^{-1}) : constante de vitesse pour une cinétique de pseudo-premier ordre

q_t (mg.g^{-1}) : est la capacité d'adsorption à l'instant t

q_e (mg.g^{-1}) : est la capacité d'adsorption à l'équilibre.

Après intégration et application des conditions initiales, l'équation peut être exprimée par l'équation suivante:

$$\text{Ln} (q_e - q_t) = \text{Ln} q_e - K_1. t \dots\dots\dots(II.2) [4]$$

II.4.2.Modèle cinétique de pseudo-second ordre

Dans le souci d'approcher le plus possible le mécanisme réactionnel réel, Ho et McKay ont opté plutôt pour un modèle cinétique d'ordre deux. Ces deux modèles mathématiques ont été choisis d'une part pour leur simplicité et d'autre part pour leur application dans le domaine

d'adsorption des composés minéraux et organiques sur les différents adsorbants. Le modèle de pseudo-second ordre suggère l'existence d'une chimisorption, un échange d'électrons par exemple entre molécules d'adsorbât et l'adsorbant solide. Il est donné par la formule (I.3) [5] [6]

$$dq_t / dt = K_2 (q_e - q_t)^2 \dots\dots\dots (II.3) [7]$$

En intégrant l'équation (II.3), on obtient la forme linéaire (I.4) :

$$t / q_t = 1 / (K_2 \cdot q_e^2) + (1 / q_e) \cdot t \dots\dots\dots (II.4)$$

Où :

q_t (mg.g⁻¹) : représente la quantité d'adsorbât adsorbée par gramme d'adsorbant à un temps t .

q_e (mg.g⁻¹) : représente la quantité d'adsorbât adsorbée par gramme d'adsorbant à l'équilibre.

t (min) : représente la temps en minutes.

K_2 (g.min⁻¹.mg⁻¹) est la constante de vitesse pour une cinétique de pseudo-second ordre.

II.4.3.Modèle d'Elovich

Le modèle d'Elovich est représenté par l'équation (II.5)

$$q_t = (1/\beta) \ln \alpha \cdot \beta + (1/\beta) \ln t \dots\dots\dots (II.5)$$

Où :

α (mg.g⁻¹.min⁻¹) est le taux d'adsorption initial.

β (mg.g⁻¹) est une constante reliée à la surface et à l'énergie d'activation de la chimisorption.

Bien que ce modèle n'apporte pas d'hypothèses évidentes sur le mécanisme de rétention, il est recommandé pour des systèmes hautement hétérogènes. [8]

II.4.4.Modèle de la diffusion intra particule:

Le modèle de diffusion intraparticulaire a été proposé par Weber et Morris [9] et est représenté par l'équation suivante :

$$Q_t = k_{int} \cdot t^{1/2} \dots\dots\dots (II.6)$$

Où :

k_{int} est la constante de diffusion intraparticulaire en (mg/g min^{1/2}).

La constante k_{int} est obtenue à partir de la pente de la partie linéaire de l'équation représentant ce modèle.

II.5. Isothermes d'adsorption :

Les systèmes adsorbant/adsorbât ne se comportent pas tous de la même manière. Les phénomènes d'adsorption sont souvent analysés en termes d'isothermes d'adsorption. Les courbes isothermes décrivent la relation à l'équilibre entre la quantité adsorbée et la concentration en soluté dans un solvant donné à une température constante.

Cette relation peut généralement être exprimée par l'équation suivante : [10]

$$Q_e = \frac{(c_0 - c_e)}{m} V \dots\dots\dots (II.7)$$

Où

qe : La quantité de soluté adsorbée (mg/g) ;

V : Volume de solution (l);

C0 : Concentration massique de soluté (mg/l) ;

Ce : Concentration massique de soluté à l'équilibre d'adsorption (mg/l) ;

m : masse d'adsorbant utilisé (g).

II.5.1. Classification des isothermes d'adsorption

Expérimentalement, on distingue quatre classes principales nommées : S (Sigmoide), L (Langmuir), H (Haute affinité) et C (partition Constante).

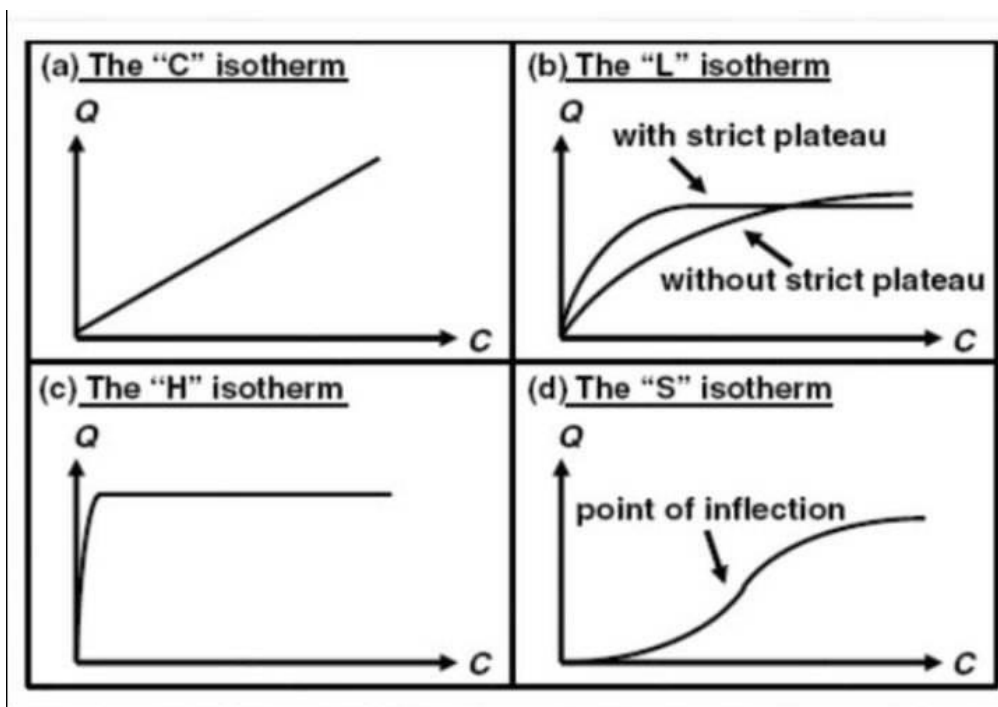


Figure II.2: Classes des isothermes d'après Gilles et al. [11]

- **Isothermes de type S :** La courbe isotherme présente généralement une forme sigmoïdale et un point d'inflexion. Ce type d'isotherme est souvent le résultat d'au moins deux mécanismes d'adsorption opposés. Les composés organiques non polaires en sont un exemple typique : ils ont une faible affinité pour les argiles, mais une fois qu'une surface d'argile est recouverte de ces composés, d'autres molécules organiques sont adsorbées plus facilement. Ce phénomène est appelé adsorption coopérative. [11]
- **Isothermes de type L :** Les courbes isothermes de type L, également appelées courbes de Langmuir, sont les plus courantes. Elles se caractérisent par une courbe concave par rapport à l'axe des concentrations. Cette forme de courbe suggère que la molécule de soluté s'adsorbe à plat sur la surface de l'adsorbant et que la compétition entre les molécules de solvant et de soluté pour occuper les sites d'adsorption est faible.
- **Isotherme de type H :** En effet, la classe H est caractérisée par une forte interaction entre les molécules adsorbées et la surface de l'adsorbant, ce qui conduit à une adsorption importante même à faible concentration de soluté dans la solution. Cette situation se produit souvent lors de l'adsorption de grosses molécules telles que les micelles ou les polymères formés à partir des molécules de soluté. Ces grosses molécules ont une plus grande surface d'interaction avec l'adsorbant et peuvent donc être adsorbées plus facilement, même à des concentrations très faibles. Cela se reflète dans la forme de l'isotherme de classe H, qui a une partie initiale presque verticale suivie d'une partie plus horizontale à mesure que la surface d'adsorption est progressivement saturée.
- **Isotherme de type C :** L'isotherme de type C, également appelée isotherme de compétition ou d'adsorption compétitive, est caractérisée par une courbe croissante sous forme de ligne droite. Cette forme d'isotherme suggère qu'il y a une compétition entre le solvant et le soluté pour occuper les sites d'adsorption sur la surface de l'adsorbant. Dans ce cas, la quantité adsorbée augmente linéairement avec la concentration du soluté dans la solution, tout en gardant le même rapport de partage (partage constant) entre le solvant et le soluté. [11]

II.6. Modèles d'adsorption

II.6.1. Modèle de Langmuir

Le modèle de Langmuir suppose les approximations suivantes :

- La surface de l'adsorbant est uniforme, c'est-à-dire que tous les sites d'adsorption ont les mêmes propriétés d'adsorption.

- Il n'y a pas d'interaction entre le soluté adsorbé et celui en solution.
- L'adsorption est limitée à une monocouche.

L'équation du modèle de Langmuir est la suivante :

$$q_e = q_m * d * C_e / (1 + d * C_e) \dots\dots\dots(\text{II.8})$$

Avec :

C_e : la concentration de l'adsorbé à l'équilibre, exprimée en mg/L.

q_m : la capacité maximale d'adsorption théorique, exprimée en mg/g.

d : la constante d'adsorption de Langmuir, qui est une constante liée à la température et au système adsorbant adsorbé.

Les deux constantes d et q_m peuvent être calculées à partir de la forme linéaire suivante :

$$C_e/q_e = 1/q_m.C_e + 1/dq_m \dots\dots\dots(\text{II.9})$$

On obtient l'équation d'une droite de pente $1/q_m$ et d'ordonnée à l'origine $1/dq_m$

II.6.2.Modèle de Freundlich

Le modèle de Freundlich est un modèle semi-empirique utilisé pour modéliser des isothermes d'adsorption sur des surfaces hétérogènes. Contrairement au modèle de Langmuir, ce modèle ne suppose pas une uniformité idéale de la surface d'adsorption et peut être utilisé pour des faibles concentrations de soluté. L'équation associée à ce modèle est donnée par :

$$q_e = K_f * C_e^{1/n} \dots\dots\dots (\text{II.10})$$

Où q_e est la quantité (mg) du soluté adsorbée par gramme (g) de solide, C_e est la concentration du soluté à l'équilibre (mg/l), K_f est la constante de Freundlich qui exprime l'affinité d'adsorption et $1/n$ est la constante de Freundlich qui traduit l'intensité d'adsorption. Les constantes K_f et $1/n$ peuvent être déterminées à partir de l'équation linéaire.

$$\text{Log } q_e = \text{Log } K_f + (1/n) \text{Log } C_e \dots\dots\dots(\text{II.11})$$

. La forme de l'isotherme dépend de la valeur de $1/n$ et peut donner des informations importantes sur les mécanismes régissant l'adsorption du composé sur le solide. En fonction de la valeur de $1/n$, on peut distinguer quatre types d'isothermes : linéaire de type C, concave de type S, concave de type L et de type H. Une valeur élevée de K_f indique que le pouvoir adsorbant de la phase solide est important, tandis qu'une valeur de $1/n$ inférieure à 1 indique que le processus d'adsorption est favorable. [12]

II.6.3. Isotherme BET (Brunauer, Emmet, et Teller) :

La théorie de Brunauer-Emmett-Teller (BET) permet de modéliser l'adsorption en multicouches, en considérant que la surface est constituée d'un ensemble de sites indépendants qui peuvent recevoir une molécule. Les sites adsorbés peuvent à leur tour devenir des sites d'adsorption pour d'autres molécules. L'isotherme de BET est représentée par une équation qui relie la concentration d'adsorbant à la masse adsorbée par unité de solide, la concentration de saturation et une constante empirique. Cette équation est donnée par :

$$C_e = a C X_0 / (C_s - C) [1 + (a - 1) C / C_s] \dots \dots \dots (II.12)$$

Où ;

X_0 : est la masse adsorbée par la première couche.

C_s : est la concentration de saturation.

C_e : est la concentration d'adsorbant.

a : est une constante déterminée empiriquement et Q est la quantité adsorbée à l'équilibre pour une concentration C_e donnée.

Cette équation permet de déterminer la surface spécifique d'un matériau à partir de l'isotherme d'adsorption. La surface spécifique est une mesure de la surface totale disponible pour l'adsorption et est souvent utilisée pour caractériser les matériaux poreux tels que les catalyseurs, les adsorbants et les membranes. [13]

II.7. Les facteurs influençant les paramètres d'adsorption

Effectivement, l'adsorption correspond à la fixation de molécules d'une phase liquide ou gazeuse à la surface d'un matériau adsorbant. Les interactions impliquées dans ce processus dépendent de plusieurs facteurs, tels que. [14]

II.7.1. Surface spécifique

En effet, la surface disponible pour l'adsorption est un facteur clé pour la capacité d'adsorption d'un matériau. Plus la surface de l'adsorbant est grande, plus il y aura de sites d'adsorption disponibles pour les molécules à adsorber. C'est pourquoi les matériaux adsorbants ont souvent une structure poreuse qui augmente leur surface spécifique. Par exemple, les charbons actifs ont une surface spécifique élevée en raison de leur structure poreuse développée.

II.7.2. Nature de l'adsorbant

Effectivement, la structure et la morphologie du matériau adsorbant jouent un rôle important dans ses capacités d'adsorption. Les matériaux présentant une grande surface spécifique, comme ceux qui ont une structure poreuse ou une forte dispersion, peuvent offrir une plus grande surface disponible pour l'adsorption des molécules. De plus, certains matériaux présentent des propriétés de surface spécifiques qui peuvent favoriser l'adsorption de certains types de molécules en fonction de leur polarité, de leur taille, ou d'autres propriétés chimiques. Ainsi, la sélection de l'adsorbant approprié dépendra de la nature des molécules à adsorber et de leurs propriétés physico-chimiques.

II.7.3. pH

L'affirmation selon laquelle "l'adsorption est maximum au point isoélectrique" est généralement vraie pour les solides à surface chargée. Le point isoélectrique est le pH où la charge nette de la surface est nulle. À ce pH, l'adsorption de cations et d'anions est minimale, car la surface est électriquement neutre et la liaison avec l'eau est minimale, ce qui permet une meilleure adsorption de la molécule d'intérêt. Cependant, pour les solides non chargés, l'affirmation selon laquelle une molécule neutre est mieux adsorbée qu'une autre n'est pas nécessairement vraie, car la nature de l'adsorption dépend de la nature chimique et des propriétés des molécules.

II.7.4. Polarité

L'affinité de l'adsorbant polaire pour le solvant est plus élevée quand ce dernier est plus polaire que le solvant.

II.7.5. Température

L'adsorption physique est généralement exothermique, d'où les résultats sont meilleurs à froid. La chimisorption par contre est endothermique. On cite par exemple une application curieuse et intéressante de l'action de la température dans l'épuration des eaux de teinturerie, pour obtenir une adsorption sélective des colorants en présence de détergents. [15]

II.8. principaux adsorbant

II.8.1. charbon actif

En effet, le charbon actif est un adsorbant couramment utilisé en raison de sa structure poreuse qui offre une grande surface spécifique disponible pour l'adsorption. Cette surface poreuse est créée lors de la fabrication du charbon actif en chauffant du charbon à des températures élevées en présence de gaz ou de vapeur. Les pores ainsi créés sont de différentes tailles, ce qui permet au charbon actif d'adsorber une grande variété de substances de différentes tailles et polarités. Le charbon actif est donc utilisé dans de nombreuses applications, telles que la purification de l'eau

potable, l'élimination d'odeurs ou de polluants dans l'air et la récupération de solvants dans les processus industriels. [16]

II.8.2. Gels de silice

Les gels de silice sont très utilisés dans l'industrie pour leurs propriétés adsorbantes. Leur capacité à adsorber l'eau les rend efficaces dans le séchage de produits tels que les gaz et les solvants. Ils sont également utilisés dans la chromatographie, où les molécules sont séparées en fonction de leur affinité pour la surface des gels de silice. Enfin, ils peuvent également être utilisés dans le traitement du gaz naturel pour éliminer les impuretés polaires telles que l'eau et les gaz acides. [17]

II.8.3. Zéolithes

Effectivement, il existe une grande variété de zéolithes, qui se distinguent par leur structure cristalline, leur composition chimique et leur propriété d'échange d'ions. Les zéolithes sont des matériaux microporeux possédant une structure en treillis tridimensionnelle, dans laquelle des ions métalliques sont coordonnés à des groupes hydroxyles tétraédriques. Ces ions métalliques sont souvent des cations alcalins ou alcalino-terreux, qui sont échangés avec d'autres ions dans la solution environnante. Les zéolithes sont souvent utilisées comme catalyseurs, adsorbants et tamis moléculaires en raison de leur propriété d'échange d'ions et de leur structure microporeuse unique. [18]

II.8.4. argile activée

Les argiles activées sont des alumino-silicates de formule brute proche de celles des zéolithes, mais de structure cristalline différente. Ce sont des produits naturels, utilisés surtout pour le séchage. [18]

II.8.5. tamis moléculaire

Ce sont des solides carbonés possédant une distribution très fine de taille des pores. [16]

Conclusion

Enfin, lorsque nous comprenons les généralités sur l'adsorption, nous pouvons construire une base solide pour étudier ses applications pratiques et ses utilisations dans de nombreux domaines. Ces connaissances de base nous fourniront une compréhension plus approfondie des processus chimiques et physiques qui nous aideront à les appliquer dans notre domaine d'étude.

Référence bibliographique

[1] NAIT MERZOUG Nesrine. APPLICATION DES TIGES DE DATTES DANS L'ADSORPTION DE POLLUANTS ORGANIQUES. Magister. Université Mohamed Cherif Massaadia Souk-Ahras. (2014).

[2]Gouarir. B, Elimination d'un colorant par adsorption sur support solide et par procédés photochimiques, en milieu aqueux, Mémoire en magister, Université Constantine 1.

[3]ZIDANI. L, ETUDE DE LA DEGRADATION DE QUATRE COLORANTS AZOIQUES PAR PHOTOCATALYSE – COMPARAISON AVEC D'AUTRES PROCEDES D'OXYDATION AVANCES (POAs), Mémoire en magister, UNIVERSITE DE BATNA

[4] S. Lagergren, About the theory of so-called adsorption of soluble substances. K. Sven.Ventenskapsakad. Handlingar Band, V 24 (1998) 1-39.

[5] Y.S Ho, G. Mc Kay, The Kinetics of sorption of divalent metal ions onto sphagnum moss peat Water Research V 34, (3) (2000) 735-742.

[6] Y.S. Ho, G. McKay, Pseudo-second order model for sorption processes, Press Biochemistry, V 34, Issue 5, (1999) 451-465.

[7] Ho, Y and G. Mc Kay, The sorption of Lead (II) ion on peat. Water Research, V 33, (2) (1999) 578-584.

[8] K. Fujiwara et al, Adsorption of platinum (IV), palladium (II) and gold (III) from aqueous solutions onto l-lysine modified crosslinked chitosan resin, J. Hazard. Mater V 146, Issues 1-2, (2007) 39-50.

[9] Travis, C.C. Etnier, E.L, 'A survey of sorption relationships for reactive solutes'. Journal of Environmental Quality, 1981.

[10] D.LEINEKUGEL-LE-COCQ (2004), Contribution à la modélisation dynamique simplifiée d'un procédé d'adsorption modulée en pression (P.S.A.), thèse de Doctorat, Université Claude Bernard-Lyon.

[11] E. Errais, Réactivité de surface d'argiles naturelles. Etude de l'adsorption de colorants anioniques, thèse de Doctorat, université de strasbourg, (2011).

[12] ZEMOURI. K et ZOUGAGH. D, Etude de l'adsorption de colorants organiques (Bleu de Méthylène et Méthyle Orange) sur les coquilles de noix de coco , Mémoire master , Université Abderrahmane MIRA de Bejaia.(2019).

[13] BOULKRAH. H , Etude comparative de l'adsorption des ions plomb sur différents adsorbants, Mémoire de magister, l'université du 20 août 1955 SKIKDA. (2008)

[14] HALIMACHENINI, Etude de la dégradation par voie photochimique de polluant organique « ORANGE G »en milieu aqueux homogène et hétérogène, Thèse de doctorat, Université Mentouri-Constantine, page 5,8

[15] Samia. ZEGGAI et Lemya KHERCHOUCHE, Etude de l'adsorption d'un colorant textile en solutions aqueuses sur un charbon actif, Mémoire de master, Ain Defla, Université Djilali Bounaama KHEMIS MILIANA, 2018, page 16, 20,21

[16] SEKRIFA Mohamed Lamine, Étude des propriétés adsorbantes des charbons activés issus des noyaux de dattes. Application au traitement d'effluent aqueux, thèse de doctorat, Université Badji Mokhtar Annaba, 2012/2013, page 3, 4,6, 23,30

[17] GHEDABNA DJIHED, Elimination des colorants bleu de méthylène et jaune d'alizarine des eaux par adsorption sur un biomatériau, mémoire de master, Université Larbi Ben M'hidi (Oum el bouaghi), 2016, page 8,18,19

[18] Ines BOUAZIZ KARIME, Traitement de solutions organiques diluées par couplage adsorption-oxydation électrochimique, Thèse de doctorat, Université de Toulouse, 2014, Page35

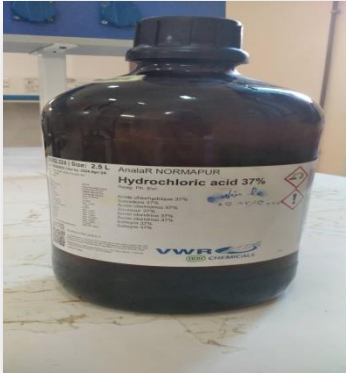

Chapitre III: Modes opérateurs



III.1.Introduction


Dans ce chapitre, nous avons exposé la démarche expérimentale entreprise, qui a impliqué plusieurs étapes. Nous avons commencé par la préparation des supports, puis nous avons étudié l'effet de différents paramètres sur le processus d'adsorption, tels que le pH du milieu et la masse du matériau adsorbant, entre autres. De plus, nous avons procédé à la caractérisation de certains paramètres des substrats utilisés.

III.2.Produits et matériels

Tableau III.1 : propriétés et rôle des produits et des matériels.

Les produits/les matériels	Nom	Propriétés et rôle
	<p>L'acide chlorhydrique</p>	<p>Masse molaire : 36,458g/mol</p> <p>Formule : HCl</p> <p>Masse Volumique : 1,19g/cm³ à 20°C</p> <p>Utilise pour maintenir un PH acide.</p>
	<p>L hydroxyde de sodium</p>	<p>Masse molaire : 39,997g/mol</p> <p>Formule : NaOH.</p> <p>Masse Volumique : 2.13g/cm³.</p> <p>Utilise pour rendre la solution basique.</p>

	<p>Rouge Congo</p>	<p>Formule : $C_{32}H_{22}N_6Na_2O_6S_2$.</p> <p>Solubilité : 25g/L dans Léau a20°C et très soluble dans l'alcool.</p> <p>PKa : environ 4.</p> <p>Pression d'ébullition : 760mmHg.</p> <p>Nom UICPA : acide benzidinediazo-bis- ; naphtylamine-4- sulfonique.</p> <p>Colorant d'étude</p>
	<p>Spectrophotomètre UV-Visible (UV-1900I)</p>	<p>Mesure d'absorbance</p>

	<i>PH-mètre</i>	<i>Mesure de PH</i>
---	-----------------	---------------------

III.3.Application d'adsorption

III.3.1.Choix du colorant

- Le colorant choisi pour cette étude répond aux critères suivants :
- Il présente une solubilité élevée dans l'eau. Sa tension de vapeur est faible, voire nulle
 - Il peut être analysé à l'aide d'un spectrophotomètre UV-visible.
- Il est caractérisé par une stabilité permanente.
 - **Rouge Congo**

Le rouge de Congo (RC) est un colorant anionique de la classe des azoïques, représenté par la formule brute chimique $C_{32}H_{22}N_6O_6S_2Na_2$ et ayant une masse molaire de $696,7 \text{ g.mol}^{-1}$. Sa formule structurale est illustrée dans la figure ci-jointe. Le RC est largement utilisé dans l'industrie chimique pour diverses applications. Une étude de son spectre UV-visible, réalisée à l'aide d'un spectrophotomètre de type (UV-1900I) phamaspec Shimadzu et portant sur des longueurs d'onde allant de 200 à 750 nm, a permis de déterminer la longueur d'onde correspondant au maximum d'absorption, soit $\lambda_{\text{max}} = 498 \text{ nm}$. [1]

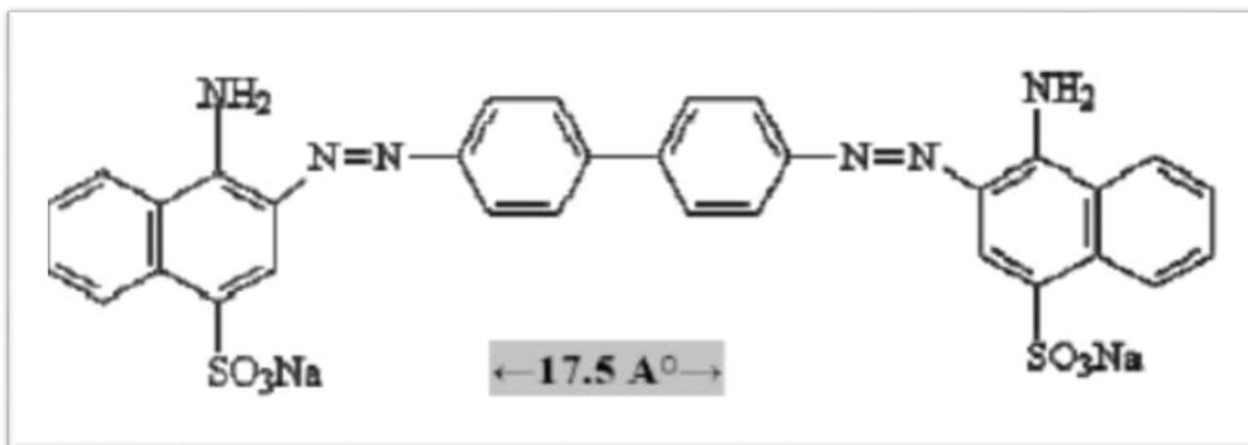


Figure III.1. Structure de Rouge Congo (formule chimique: $C_{32}H_{22}N_6Na_2O_6S_2$)

III.4.L'adsorbant

III.4.1. Définition de chitosane

Le chitosane est le dérivé déacétylé de la chitine. Sa découverte est attribuée à Rouget en 1859. En chauffant de la chitine en présence de potasse, il a observé que le produit était soluble dans des solutions aqueuses acides. Le chitosane est rarement présent dans la nature. On le trouve dans la cuticule de certains insectes, dans le mycélium d'une classe de champignons microscopiques appelés les zygomycètes, ainsi que dans certaines algues (*Chlorella* sp.), protozoaires, bactéries et levures. [2]

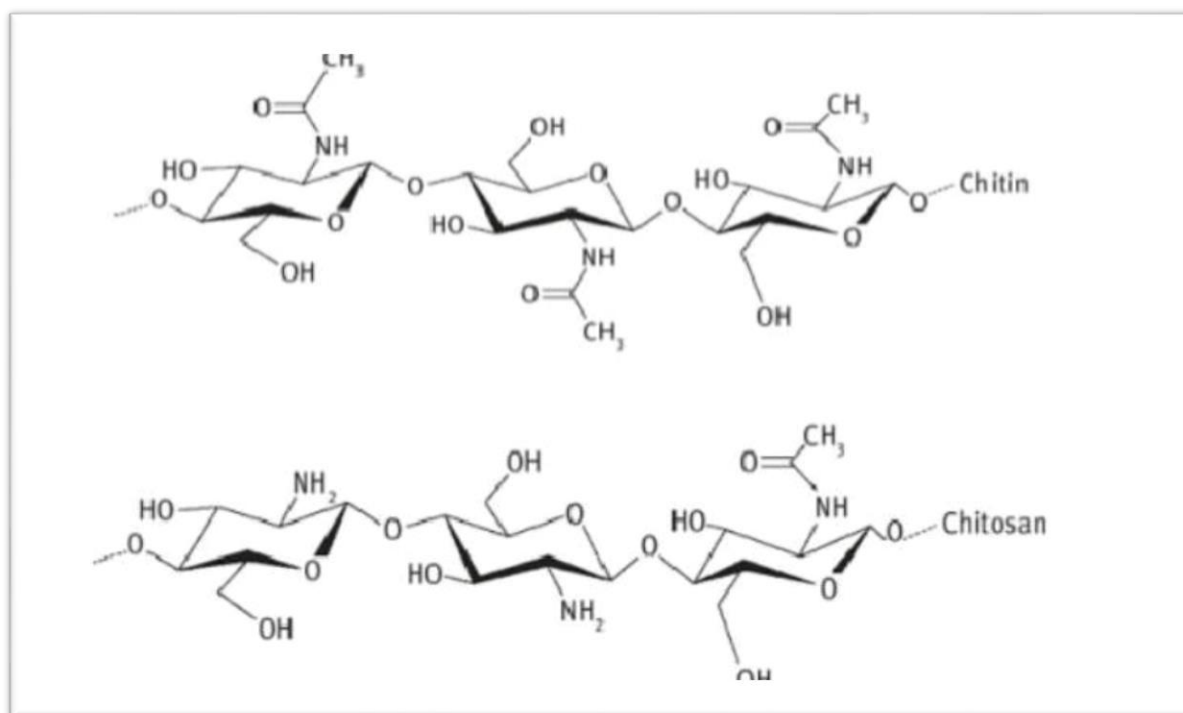


Figure III.2. Comparisons de structures de la chitine et du la chitosane

La matière première utilisée dans cette étude est l'exosquelette de crevette. Les carapaces sont fournies par les restaurants des côtes de Skikda. Après cela, les carapaces sont lavées, puis séchées et broyées à l'aide d'un blender.

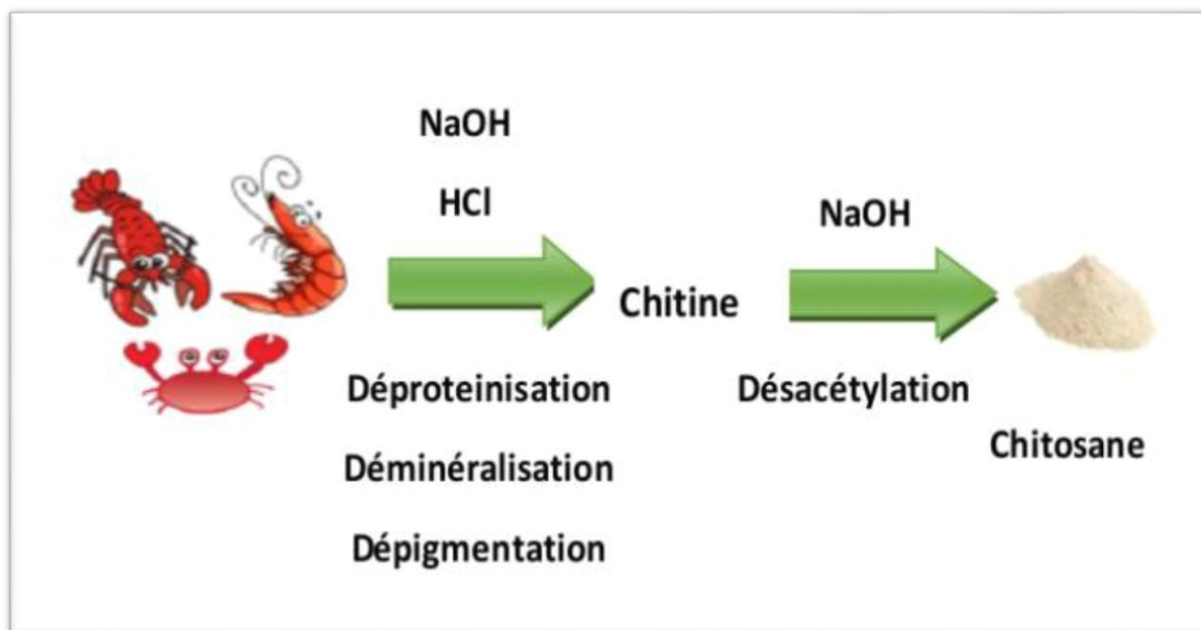


Figure III.3. Procédé de production du chitosane à partir de l'extraction et de la désacétylation De la chitine dans carapaces des crustacés.

III.5.Préparation des solutions mère du rouge Congo

Nous avons préparé dans une fiole, des volumes importants (1L) de solution mère de RC de Concentration (200 mg/l) par dissolution de 200 mg dans un litre d'eau distillée. Cette concentration Est utilisée dans toutes les expériences.



Figure III.4.La solutions mère du rouge Congo.



Figure III.5. La quantité de rouge Congo poudre.

III.6.Méthodes de dosage par spectroscopie UV-Visible

Le spectrophotomètre UV1900I est un spectrophotomètre UV-Vis double faisceau doté de la technologie de réseau de diffraction unique LO-RAY_LIGH de Shimadzu. Ce système dispos d'un logiciel interne qui le rend autonome. Il peut également être piloté par le logiciel de nouvelle génération L'absolutions UV-Vis. [3]

III.7. Etalonnage de solution:

L'étalonnage est réalisé à l'aide d'une méthode simple, qui consiste à préparer une série de solutions de concentrations bien déterminées. Dans une série de 7 béchers d'un volume de 100 ml chacun, on mélange différents volumes de solution mère de RC avec différents volumes d'eau distillée. Ensuite, ces solutions sont analysées par spectrophotométrie. Une droite d'étalonnage est tracée en représentant la densité optique (DO) en fonction de la concentration initiale (C). La courbe d'étalonnage ainsi établie permet de déterminer les concentrations résiduelles en utilisant l'équation de la droite.



Figure III.6. Test étalonnage de solution.

III.8. Influence de paramètres sur l'adsorption

Pour étudier le phénomène d'adsorption du RC sur le chitosane, nous avons choisi les conditions opératoires suivantes : temps de contact, masse de chitosane, concentration initiale du RC et pH. Après chaque opération d'adsorption, la solution a été prélevée à l'aide d'une seringue et analysée par spectrophotométrie UV-Visible afin de déterminer la concentration résiduelle du RC.

III.8.1. Effet de temps de contact de colorant avec l'adsorbant

Cette étape est essentielle pour déterminer le temps d'équilibre de la réaction d'adsorption. Nous préparons un échantillon dans un bécher contenant 500 ml de solution de RC avec une concentration de 20 mg/l. Ensuite, nous mélangeons cette solution avec une

masse de 0,04 g de chitosane. La température et le pH sont maintenus constants, et la vitesse d'agitation est réglée à 450 tr/min. Le temps de contact varie entre 15 et 120 minutes. Les résultats obtenus sont ensuite tracés sous forme d'une courbe $Q_{ads} = f(t)$, où Q_{ads} représente la quantité adsorbée et t représente le temps de contact.



Figure III.7. Test d'effet de temps de contact de colorant avec l'adsorbant.

III.8.2. Effet de la quantité de l'adsorbant

L'influence de la masse initiale de chitosane est très importante pour déterminer la meilleure quantité adsorbée en fonction de la masse. Cette expérience a été réalisée à une température et un pH constants. Un volume de 500 ml de solution de RC avec une concentration de 20 mg/l a été utilisé, et l'agitation a été maintenue pendant un temps maximal de 90 minutes en utilisant un appareil de type jar-test. Les masses de chitosane étudiées étaient de 0,02 g, 0,04 g, 0,06 g, 0,08 g, 0,1 g et 0,15 g.



Figure III.8.Test d'effet de la quantité de l'adsorbant.

III.8.3. l'effet de PH de solution de RC sur l'adsorption

Dans cette étude, l'effet du pH sur l'adsorption du RC a été examiné sur une large plage de pH allant de 2 à 12. Une concentration initiale de 20 mg/L de RC a été utilisée, ainsi qu'une masse d'adsorbant de 0,04 g, et la température ambiante a été maintenue. Le pH de la solution a été ajusté aux valeurs souhaitées en ajoutant de l'acide chlorhydrique (HCl) ou de l'hydroxyde de sodium (NaOH).



Figure III.9.Test d'effet de PH de solution de RC sur l'adsorption

III.8.4. isotherme d'adsorption

Dans une série de béchers, une masse de 0,04 g de chitosane a été ajoutée à 500 ml de solution de Rouge Congo à différentes concentrations. Les essais ont été réalisés à la température ambiante avec une agitation constante. La concentration initiale varie de 5 à 35 mg/l. Un temps de contact de 90 minutes a été choisi, au bout duquel l'équilibre entre les différentes phases est atteint. Les mélanges ont ensuite été filtrés et analysés par spectrophotométrie UV-Visible. Les différents résultats obtenus ont été tracés sous forme d'une courbe $Q_{ads} = f(C_e)$, où Q_{ads} représente la quantité adsorbée et C_e représente la concentration d'équilibre.

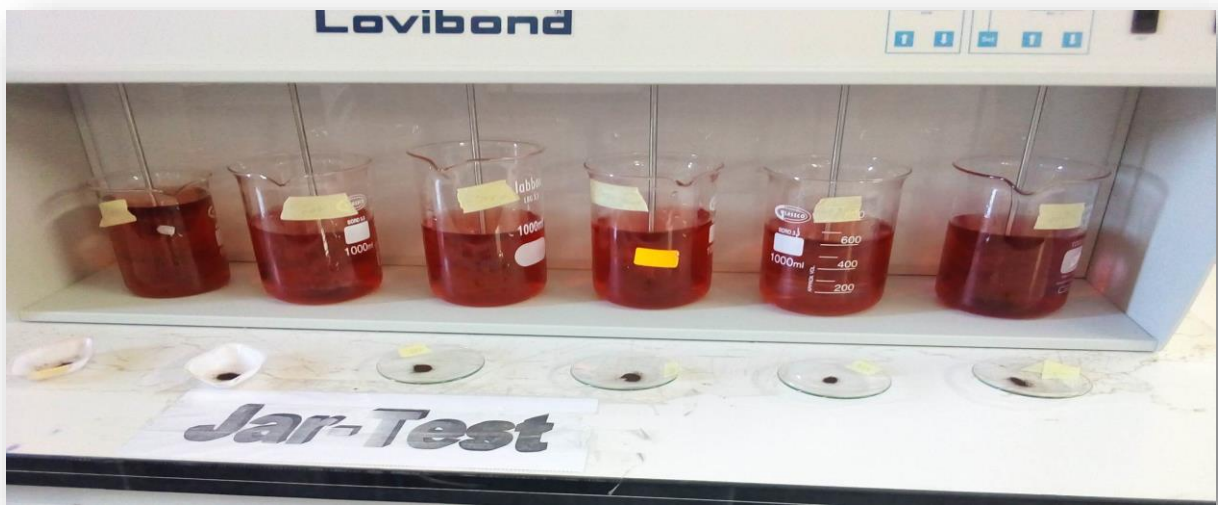


Figure III.10. Test d'effet de différente concentration de RC.

III.9. Quantités de RC absorbées

Our calculer la quantité de RC biosorbée Q on utilise la formule suivante :

$$Q = [(C_0 - C_e) / m] \times V$$

Avec:

Q : quantités de RC absorbées (mg/g).

C_0 : concentration initiale de solution de RC en (mg/l).

C_e : la concentration de solution RC résiduelle en (mg/l).

V : volume de la solution de colorant utilisé (l).

M : masse de biosorbant (g).

III.10.Rendement d'élimination

Pour calculer le rendement d'élimination de RC (%), on applique la formule :

$$\mathbf{R \text{ (\%)} = [(C_0 - C_e) / C_0] * 100}$$

Avec :

C₀ : concentration initiale de solution de RC en (mg/l).

C_e : concentration de solution RC résiduelle en (mg/l).

Référence bibliographique

[1] Erudit, Étude cinétique de l'adsorption du rouge de Congo, disponible sur <https://www.erudit.org/>, consulté le (20.04.2023).

[2] Bellouti Fatima, Hadj djilaniSoumeya, Préparation de chitosane à partir des carapaces de crevettes: étude et caractérisations, mémoire de fin d'étude pour obtenir du diplôme de master, khemis Meliana, 2017.

[3] Shimadzu, spectrophotomètre UV-s, disponible sur <https://www.shimadzu.fr/>, consulté le (05.05.2023).

Chapitre IV : Résultats et discussions

IV.1.Introduction

Dans ce chapitre, nous présentons les résultats obtenus à partir des expériences concernant l'adsorption du colorant anionique présent dans Léau (élimination du Congo rouge de l'eau par le chitosane), discutés et interprétés.

IV.2. Courbe d'étalonnage

L'analyse du colorant étudié RC a été réalisée par spectrophotométrie UV Visible. Le tableau IV-1 indique les longueurs d'onde maximum (λ_{\max}) pour ce colorant.

Tableau IV-1 : Valeurs de λ_{\max} du colorant.

Colorant	Rouge Congo
λ_{\max} (nm)	498

La courbe d'étalonnage établie à partir des solutions diluées du colorant sur la base de la longueur d'onde indiquée dans la spectrophotométrie UV Visible est montrée dans la figure IV-1. D'après cette figure, on remarque une bonne linéarité et la possibilité d'analyser ce colorant par cette méthode ce qui confirme que la loi de Beer-Lambert, est vérifiée.

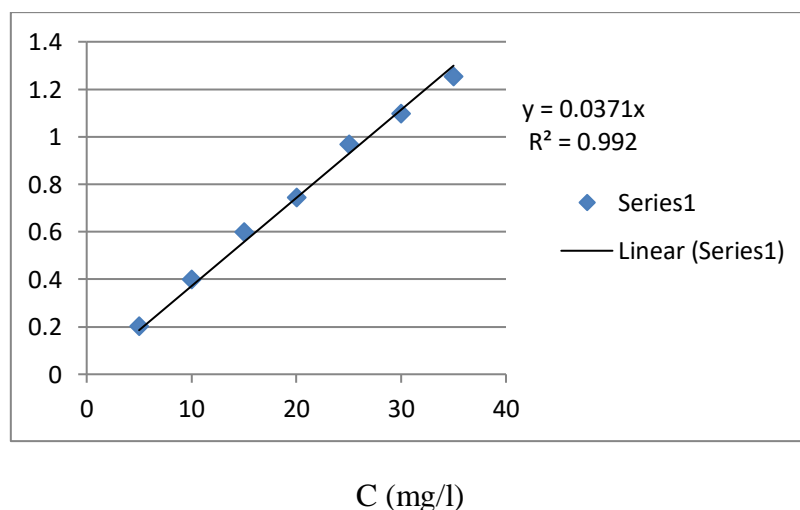


Figure IV.1 : Courbe d'étalonnage du RC.

Equation courbe : $y=0,037x$ avec un coefficient de régression $R^2= 0.992$.

IV.3. Cinétique d'adsorption (Temps de contact)

Cette étude a pour objectif de déterminer la durée nécessaire afin d'obtenir l'équilibre d'adsorption de RC sur le chitosane. Les résultats des valeurs obtenus sont représentés dans le tableau II.2 en annexe. et représenté sur la figure IV.2.

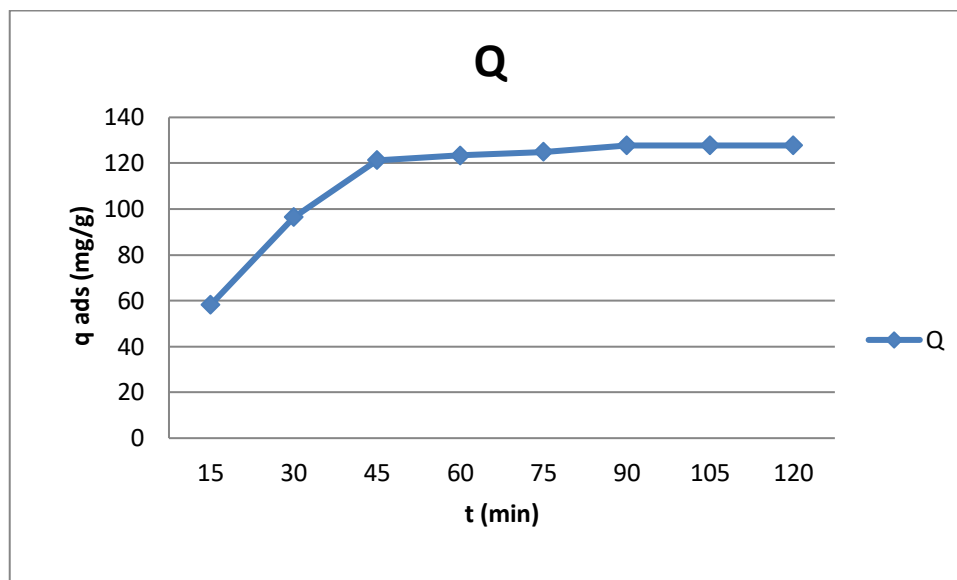


Figure IV.2 : Cinétique d'adsorption de RC sur chitosane a $m=0,04g$, $V =500$ ml, $C =20$ mg/l, $T=25^{\circ}C$, $v =450$ tr/min, $t=90$ min.

Les résultats obtenus montrent que la capacité d'adsorption de RC augmente en fonction du temps de contact jusqu'à atteindre un palier de saturation. Nous pouvons considérer selon les résultats obtenus que la rétention de RC consiste en deux étapes distinctes. L'adsorption est tout d'abord rapide et transitoire, ensuite elle devient stable au bout de 90 minutes où le régime permanent est atteint.

IV.4.L'effet de la masse de l'adsorbant

Les résultats obtenus sont présentés sur le tableau (03) en annexe et la figure IV.3

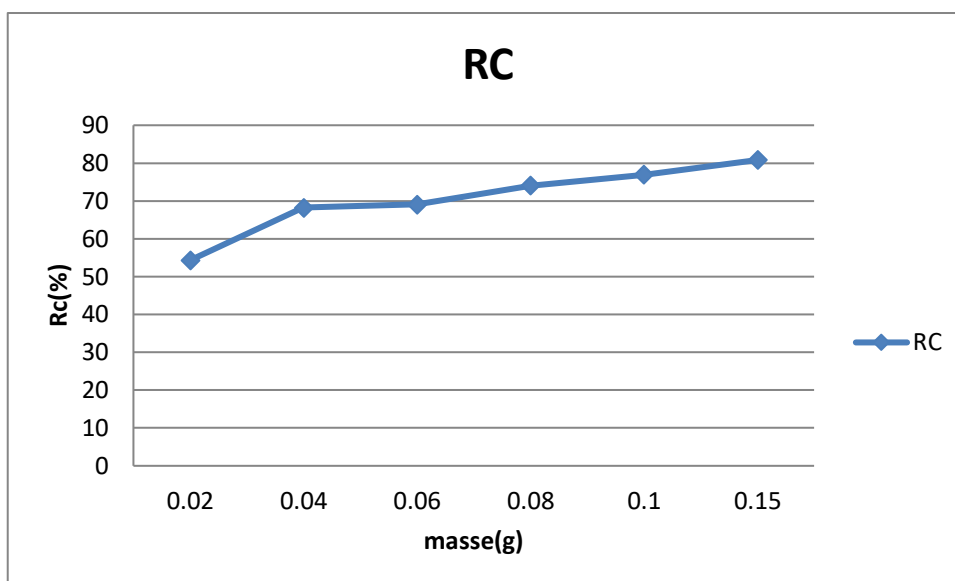


Figure IV.3 : l'effet de la masse sur l'adsorption du RC

$C_0=20$ mg/l, $T=25$ °C , $V=500$ ml, $t=90$ min, $v=450$ tr/min.

La figure montre que le pourcentage d'élimination du RC augmente rapidement, lorsqu'on passe d'une masse de chitosane de 0.02 g à 0.15g. Cela est dû à l'augmentation de la surface spécifique et les sites d'adsorption attribués à l'augmentation de la masse d'adsorbant.

IV.5. Etude de l'effet du pH sur l'adsorption de Rouge Congo

Les résultats de l'influence du pH sur l'adsorption de RC sur chitosane sont montrés dans le tableau(04) en annexe et la figure IV.4.

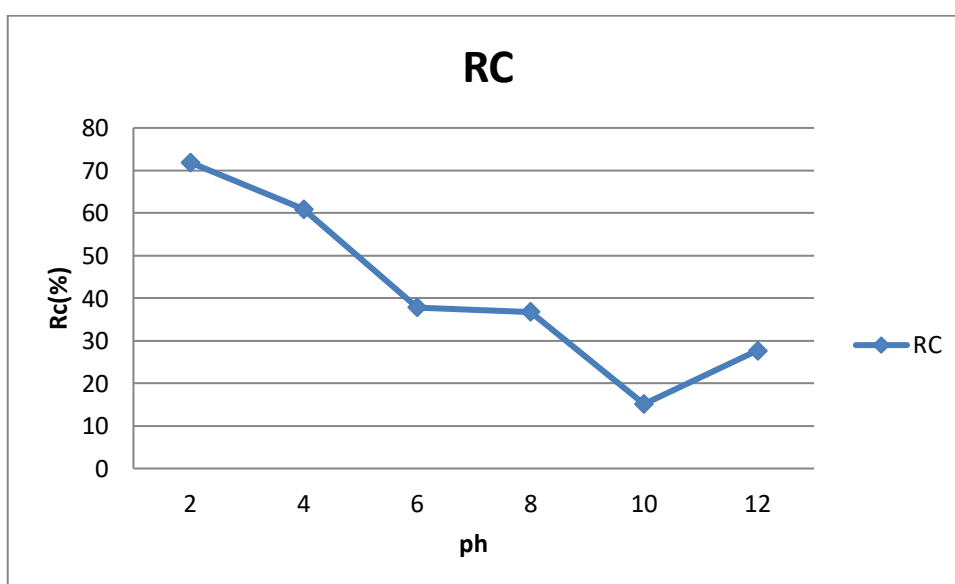


Figure IV.4 : Influence du pH sur l'adsorption du RC sur chitosane $C_0= 20$ mg/l,
 $T=25^{\circ}\text{C}$, $m=0.04\text{g}$, $t=90$ min, $v=450$ tr/min.

Nous constatons d'après la figure(IV.4) que le rendement d'élimination est au maximum pour un $\text{pH} = 2$ (plus acide) et que le rendement est faible pour $\text{pH}=10$.

IV.6.L'isotherme d'adsorption

Dans cette étude, nous avons suivi le même protocole expérimental adapté précédemment (Chap. III) en faisant varier la concentration de 5mg/l jusqu'à 30mg/l. Le temps de contact a été fixé à 90 min.

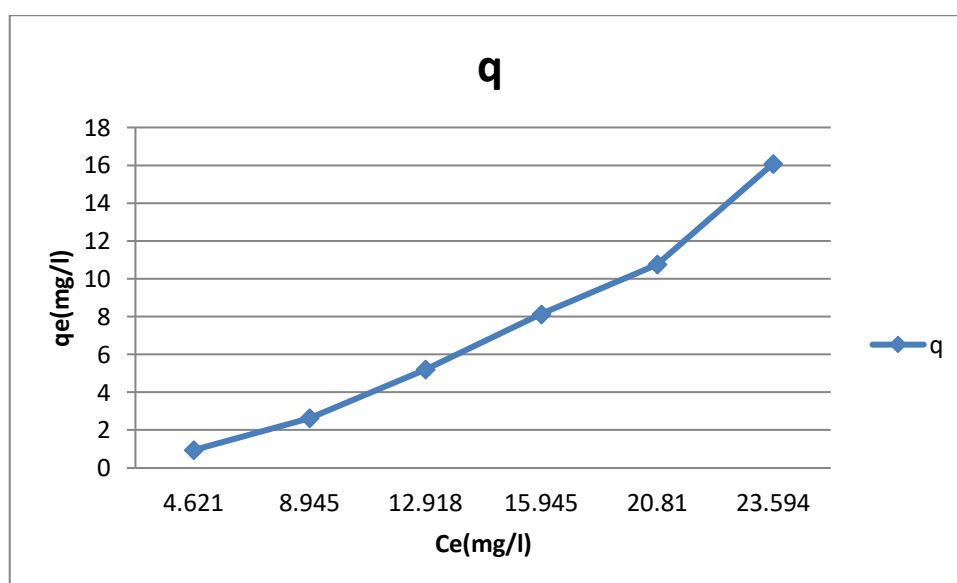


Figure IV.5 : Isotherme d'adsorption de RC sur le chitosane a $t =90$ min, $m=0,04$ g,
 $V=100$ ml, $T=25^{\circ}\text{C}$, $v=450$ tr/min.

Les résultats obtenus est consigné dans le tableau (05) en annexe et la figure (IV.5) représente le isotherme d'adsorption de RC sur le chitosane, que selon la classification de isotherme d'adsorption de Giles, le isotherme est de type C, également appelée isotherme de compétition ou d'adsorption compétitive, est caractérisée par une courbe croissante sous forme de ligne droite. Cette forme d'isotherme suggère qu'il y a une compétition entre le solvant et le soluté pour occuper les sites d'adsorption sur la surface de l'adsorbant. Dans ce cas, la quantité adsorbée augmente linéairement avec la concentration du soluté dans la solution, tout en gardant le même rapport de partage (partage constant) entre le solvant et le soluté.

IV.7.Modélisations des résultats

IV.7.1.Modélisation de la cinétique

La modélisation de la cinétique a pour objectif principal d'étudier et de bien décrire le processus d'adsorption de RC sur le chitosan en appliquant les différents modèles suivants:

- Le modèle du pseudo-premier ordre
- Le modèle du pseudo-second ordre
- Le modèle de diffusion intra-granulaire.

Les résultats obtenus sont représentés dans le tableau (III.4) en annexe dans lequel, nous avons donné les différentes constantes des modèles d'adsorption à savoir les constantes de vitesse, les quantités adsorbées maximales théoriques, expérimentales et les coefficients de corrélation R^2 . Le meilleur modèle établi pour l'étude de la cinétique d'adsorption est choisi selon le facteur de corrélation. Plus ce facteur est élevé plus le modèle est favorable pour l'étude du processus d'adsorption.

A. Le modèle du Pseudo premier ordre

Après intégration de l'équation de pseudo premier-ordre (chapitre II), on obtient

$$\ln(q_e - q_t) = \ln q_e - K_1 \cdot t \quad [5]$$

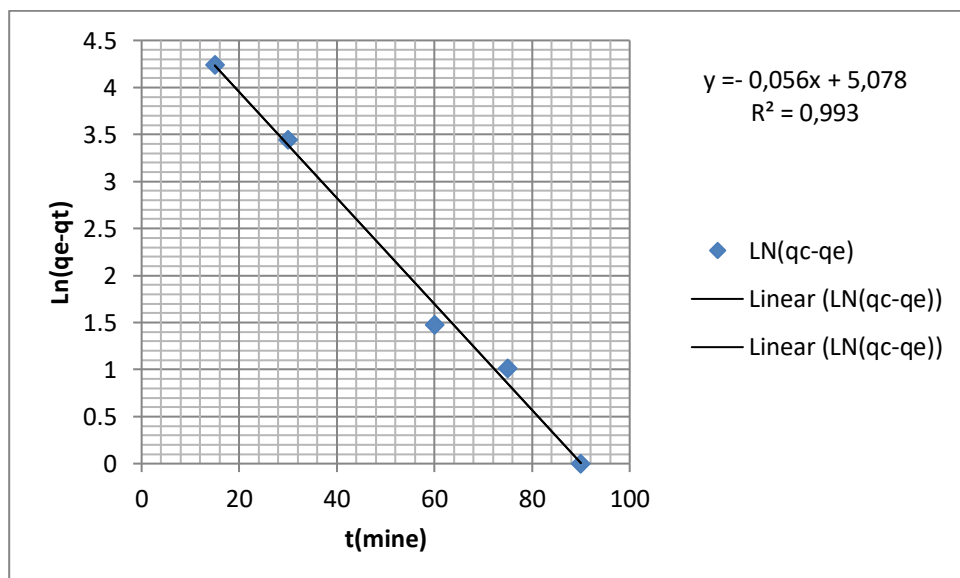


Figure IV.6 : Modèle du pseudo-premier ordre.

B. Le modèle du Pseudo deuxième ordre

L'intégration de l'équation cinétique de pseudo second-ordre (chapitre II) donne la relation Linéaire : $t / q_t = 1 / (K_2 \cdot q_e^2) + (1 / q_e) \cdot t$ [7]

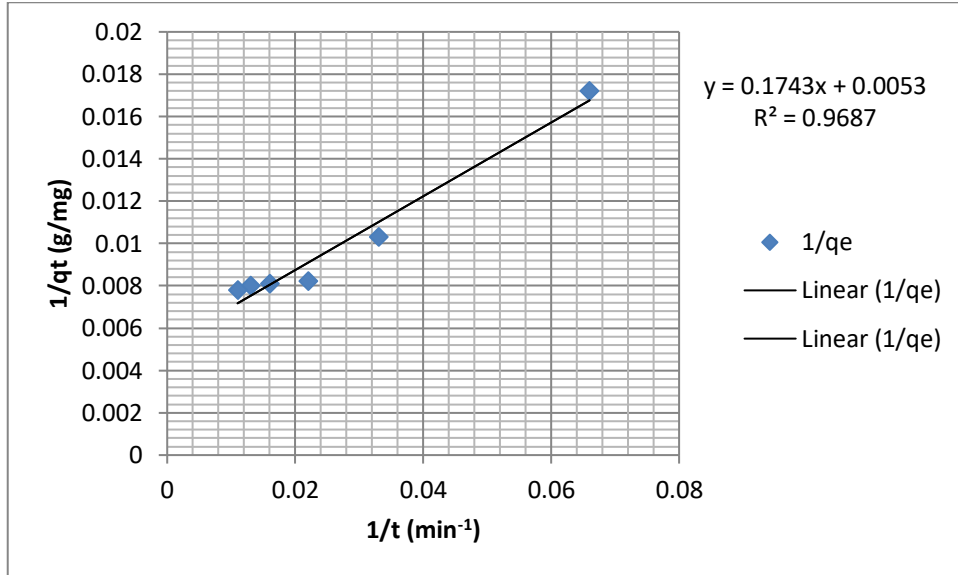


Figure IV.7 : Modèle du pseudo-second ordre.

C. Modèle de diffusion intra particulaire

La possibilité de résistance de diffusion intra particulaire affectant l'adsorption a été étudiée en utilisant le modèle de diffusion intra particulaire déjà décrit précédemment (chapitre II) : $Q_t = K_{int} \cdot t^{0.5}$ [9]

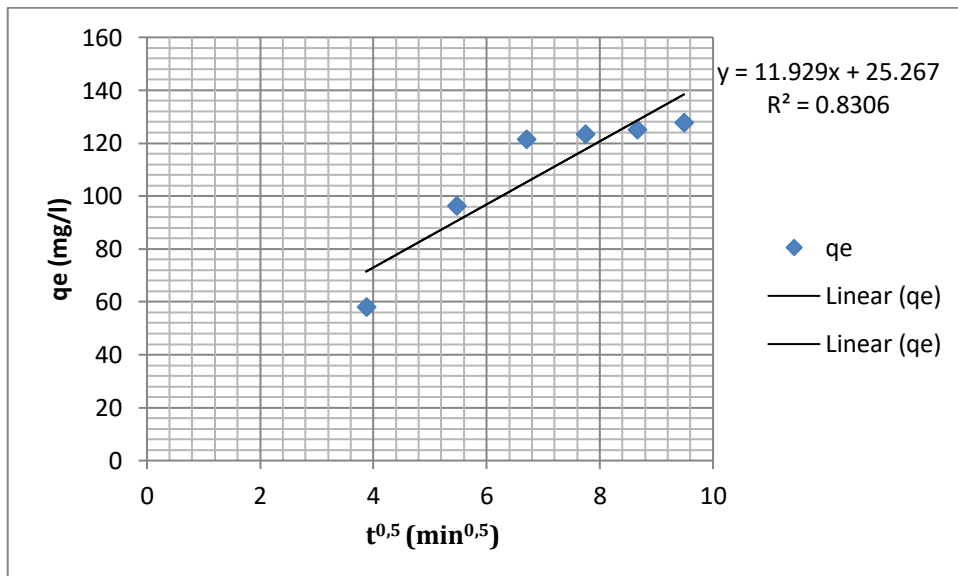


Figure IV.8 : Modèle de diffusion intra-granulaire.

En fait cette série de cinétique d'adsorption, nous a permis de calculer les constantes cinétiques de chaque modèle. Les résultats obtenus sont rassemblés dans le tableau (IV.2)

Tableau IV.2 : Constantes des différents modèles de la cinétique d'adsorption de RC sur chitosane

Modèle du Pseudo-premier ordre	K₁ (min⁻¹)	0,056
	R²	0,993
	q_e (mg.g⁻¹)	13,803
Modèle du Pseudo-second ordre	K₂ (g.min⁻¹.mg⁻¹)	6,060
	q_e (mg.g⁻¹)	5,747
	R²	0.968
Modèle de Diffusion intra-particulaire	K_{int} (mg/g min^{1/2})	11,92
	R²	0,830

À partir du tableau (IV.2) nous remarquons que le modèle qui présente un facteur de Corrélation le plus élevé est celui du modèle de Pseudo-premier ordre avec un facteur de corrélation (R²= 0.993), on Peut en déduire donc que le modèle de Pseudo-premier ordre est celui qui décrit mieux le processus d'adsorption de RC sur le chitosane.

IV.7.2.Modélisation de l'isotherme d'adsorption

Les modèles qui sont utilisés sont: le modèle de Langmuir, le modèle de Freundlich, et dont les équations définissant ces modèles ainsi que leurs transformées linéaires sont représentés précédemment dans le chapitre

B. Modèle de Langmuir

Les résultats expérimentaux des isothermes d'adsorption du RC sur chitosan modélisé par l'équation de Langmuir linéaire:[12]

$$\frac{C_e}{q_e} = \frac{1}{(K_L \cdot q_{\max})} + \left(\frac{1}{q_{\max}}\right) \cdot C_e$$

Est représenté dans le tableau (06) en annexe et les courbes est présentée dans la figure (IV.).

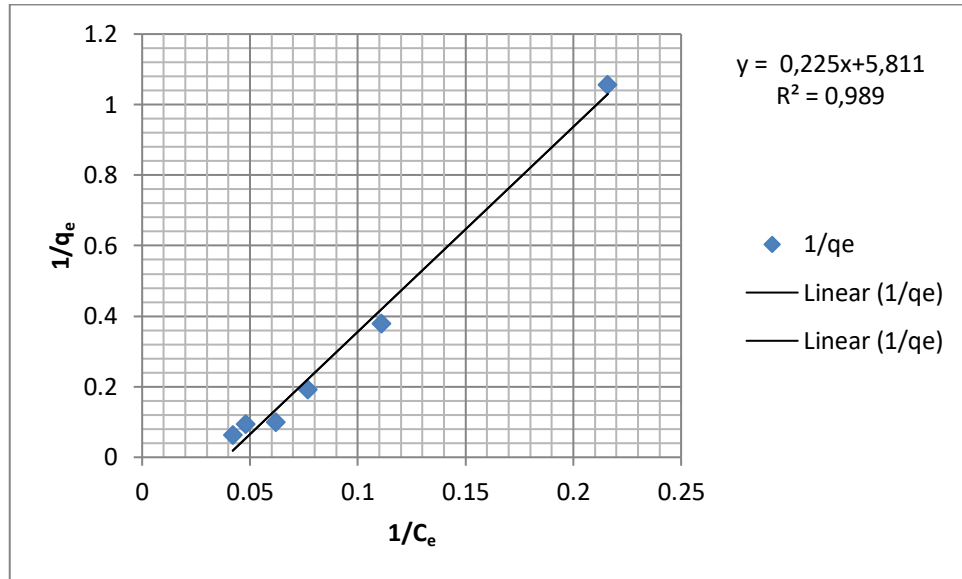


Figure IV.9 : Modélisation linéaire par le modèle de Langmuir du RC sur chitosane

A. Modèle de Freundlich

Les résultats expérimentaux des isothermes d'adsorption du RC sur Chitosan modélisé par l'équation de Freundlich linéaire[12]

$$(\text{Log } q_e = \log K_F + 1/n \log C_e)$$

Est représenté dans le tableau (06) en annexée le courbe est présentée dans la figure (IV.10).

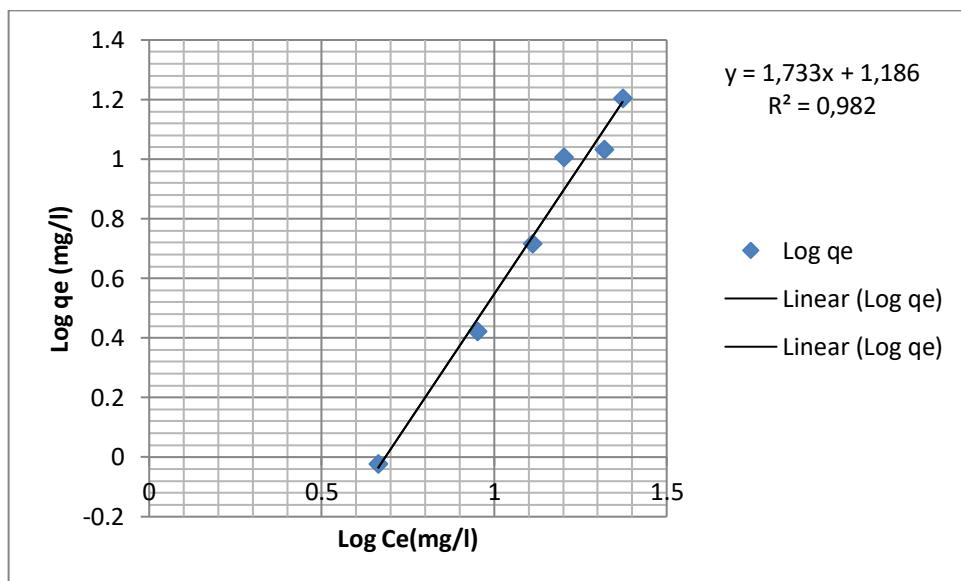


Figure IV.10 : Modélisation linéaire par le modèle de Freundlich du RC sur Chitosane.

Les allures obtenues montrent que le processus d'adsorption de colorant pourrait se produire Particulièrement en monocouche. Les principaux paramètres, caractérisant chaque modèle, sont Résumés dans le tableau : IV.3

Tableau (IV.3) : Constantes de la différente modélisation de l'isotherme d'adsorption de Rouge Congo sur Chitosane.

Le modèle de Langmuir	K_L (l/mg)	0,038
	q_{max} (mg/g)	4,444
	R^2	0,989
Le modèle de Freundlich	K_F	3,223
	n_f	0,577
	R^2	0,982

À partir des résultats obtenus, après la modélisation des isothermes d'adsorption (Langmuir, Freundlich), on observe que le modèle de Langmuir est le modèle le plus favorable pour décrire L'isotherme d'adsorption de la Chitosane.

Conclusion générale

L'objectif principal de notre étude actuelle est l'application du chitosane en adsorption Certains micropolluants présents dans les eaux usées de l'industrie, notamment de l'industrie Textiles. Nous sommes intéressés aux propriétés d'adsorption que le chitosane pouvait avoir Utilisé dans le traitement de la pollution des eaux rouges. Nouvelle utilisation du chitosane Le processus de transformation s'inscrit dans le cadre du développement durable, aux côtés environnemental et sociétal d'une part Le chitosane est efficace pour adsorber les micropolluants grâce à ses propriétés chimiques et physiques. Sa surface chargée positivement attire les polluants chargés négativement, améliorant ainsi leur absorption. De plus, sa structure poreuse offre une surface particulièrement importante pour l'absorption des polluants. L'application du chitosane dans l'absorption des micropolluants présents dans l'eau présente plusieurs avantages. Tout d'abord, c'est un matériau naturel et biodégradable, ce qui en fait une option respectueuse de l'environnement. De plus, ils sont disponibles à partir de sources renouvelables, ce qui facilite leur production à grande échelle.

Des études ont montré que le chitosane peut être utilisé pour éliminer divers micro-contaminants tels que les métaux lourds, les colorants, les pesticides et les composés organiques volatils. Leur efficacité dépend de plusieurs facteurs, tels que le pH de la solution, la concentration des contaminants, la taille des particules de chitosane, le temps de contact, etc. Étude d'adsorption de Rouge Congo sur le chitosane a été suivie en fonction de la différence Paramètres physiques et chimiques tels que : pH, masse, temps de contact, concentration. Affilier Des études cinétiques ont été réalisées pour suivre l'intercalation du Rouge Congo. Divers modèles mathématiques tels que (Langmuir, Freundlich, Pseudo premier ordre, pseudo second ordre, diffusion intraparticulaire). Les principaux résultats de Cette étude montre que :

- Nous pouvons constater que les cinétiques présentent deux étapes distinctes. La première étape est rapide tandis que la deuxième est stable. Le temps de contact nécessaire pour obtenir un équilibre est environ une 90 minute.
- Les résultats obtenus, de le isotherme est de type C, également appelée isotherme de compétition ou d'adsorption compétitive, Dans ce cas, la quantité adsorbée augmente linéairement avec la concentration du soluté dans la solution, tout en gardant le même rapport de partage (partage constant) entre le solvant et le soluté.

- Le pH le plus favorable pour meilleure adsorption avoisine la valeur de 2.
- Les modélisations des isothermes ont montré que le modèle de Langmuir est le modèle le plus favorable pour décrire l'isotherme d'adsorption de chitosane
- La modélisation de la cinétique d'adsorption a montré que le modèle du premier ordre est le plus adéquat pour décrire la cinétique d'intercalation de RC dans le chitosane. Dans ce modèle, les coefficients de corrélation sont des 0.993.

En conclusion, l'utilisation du chitosane pour adsorber les micropolluants présents dans l'eau offre une méthode prometteuse et respectueuse de l'environnement pour l'élimination de ces matières indésirables. Cependant, des recherches supplémentaires sont nécessaires pour optimiser les conditions d'adsorption, améliorer l'efficacité et étendre son utilisation dans le traitement des eaux contaminées.

Tableau01: Etalonnage des solutions

V (RC)	5	10	15	20	25	30	35
V(H₂O)	95	90	85	80	75	70	65
C (mg/l)	5	10	15	20	25	30	35
Abc	0.203	0.401	0.598	0.746	0.969	1.097	1.254

Tableau 02: données expérimentales de la cinétique d'adsorption de Rouge Congo sur le chitosane

Temps (min)	15	30	45	60	75	90	105	120
Ce (mg/l)	15.35	12.29	10.29	10.13	10	9.78	9.78	9.78
q_{ads} (mg/g)	58.125	96.375	121.375	123.375	125	127.75	127.75	127.75

Tableau 03: données expérimentales de l'effet de masse sur l'adsorption de Rouge Congo sur le chitosane

M (g)	0.02	0.04	0.06	0.08	0.1	0.15
Ce (mg/L)	9.135	6.351	6.189	5.189	4.621	3.837
RC%	54.325	68.245	69.055	74.055	76.895	80.815

Tableau 04: données expérimentales de l'effet du pH sur l'adsorption de Rouge Congo sur le chitosane

pHi	2	4	6	8	10	12
pHe	2.11	6.36	7.48	8.33	9.55	12.3
Ce (mg/l)	5.621	7.810	12.432	12.648	16.972	14.459
R%	71.895	60.95	37.84	36.76	15.14	27.705

Tableau05: données expérimentales de l'isotherme d'adsorption de Rouge Congo sur le chitosane

Ci (mg/l)	5	10	15	20	25	30
Ce (mg/l)	4.621	8.945	12.918	16.950	20.810	23.594
qe (mg/l)	0.947	2.637	5.205	8.137	10.75	16.015

Tableau 06: détermination des isothermes de Freundlich et Langmuir

Ce (mg/l)	4.621	8.945	12.918	15.945	20.810	23.594
qe (mg/g)	0.947	2.637	5.205	10.137	10.75	16.015
1/Ce	0.216	0.111	0.077	0.062	0.042	0.042
1/Qe	1.055	0.379	0.192	0.098	0.093	0.062
Log Ce	0.664	0.951	1.111	1.202	1.318	1.372
Log Qe	-0.023	0.421	0.716	1.005	1.031	1.204

Tableau 07: Paramètres équationnels du modèle du pseudo-premier ordre.

t (min)	15	30	45	60	75	90
ln (q_e – q_t) (mg/g)	4.243	3.446	1.216	1.475	1.011	0

Tableau 08: Paramètres équationnels du modèle du pseudo-second ordre.

1 / t (min⁻¹)	0.0666	0.033	0.022	0.016	0.013	0.011
1 / q_t (g/mg)	0.0172	0.0103	0.0082	0.0081	0.008	0.0078

Tableau 09: Paramètres équationnels du modèle de diffusion intra-granulaire.

t^{0.5} (min)^{0.5}	3.872	5.477	6.708	7.745	8.660	9.486
q_t (mg/g)	58.125	96.375	121.375	123.375	125	127.75