



REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

UNIVERSITE DE 20 AOUT 1955 SKIKDA

FACULTE : DE TECHNOLOGIE

DEPARTEMENT : DE PETROCHIMIE ET GENIE DES PROCÉDES

# Mémoire

En vue de l'obtention du diplôme de

# Master

Filière : Génie des procédés.

Spécialité : Génie de l'Environnement

Potentiel de bio-sorption d'un biomatériau (nouveaux adsorbants) : application pour l'élimination d'un colorant dans l'eau

Réalisé par :

ATIETALLAH Hakima Ikram

ATIETALLAH Nesrine

HADRI Saida

Encadré par :

Dr. BOUGHAITA Imen

Année Universitaire 2022- 2023

## **Résumé**

Cette étude porte sur l'application d'un adsorbant charbon actif préparé à base de CA et de CN à pourcentage de 50%, avec une activation chimique pour obtenir des matériaux suivant : CA\_HCl, CA\_H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> dans le domaine de traitement des eaux, notre travail intéresse de l'investigation des matériaux préparés pour l'adsorption d'un colorant Vert de Malachite (VM), et l'effet de plusieurs paramètres tel que le temps de contact, la concentration initiale en (VM), le pH de la solution, la masse des adsorbants ont été étudiés. Une modélisation des isothermes d'adsorption a été effectuée à l'aide des modèles d'isothermes de Langmuir, Freundlich et leurs coefficients de corrélation obtenus, indiquent que le modèle de Freundlich est favorable pour les adsorbants : CA\_HCl, CA\_H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>. La modélisation de la cinétique d'adsorption obéit au modèle de pseudo second ordre.

**Mot clés :** Adsorption, charbon actif, colorant, vert de malachite (VM), CA\_H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>, CA\_HCl

## **Abstract**

This study relates to the application of an activated carbon adsorbent prepared on the basis of CA and CN at a percentage of 50%, with chemical activation to obtain the following materials: CA\_H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>, CA\_HCl in the field of water treatment; our work concerns the investigation of the materials prepared for the adsorption of a Malachite Green dye (VM), and the effect of several parameters such as the contact time, the initial concentration of (VM), the pH of the solution, the mass of the adsorbents were studied. A modeling of the adsorption isotherms has been carried out using the Langmuir and Freundlich isotherms models and their correlation coefficients obtained indicate that the Freundlich model is favorable for the adsorbents : CA\_HCl, CA\_H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>. The modeling of the adsorption kinetics obeys the pseudo-second-order model.

Keywords : Adsorption, activated carbon, dye, malachite green (VM), CA\_H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>, CA\_HCl

## ملخص

تتعلق هذه الدراسة بتطبيق مادة ماصة للكربون المنشط محضرة على أساس قشور الجوز واللوز بنسبة 50٪، مع التنشيط الكيميائي للحصول على المواد التالية كربون منشط مفعّل بواسطة حمض الكلور وكربون منشط بواسطة الماء الأوكسيجين في مجال معالجة المياه؛ يتعلق عملنا بالتحقيق في المواد المعدة لامتصاص صبغة الملكيث الخضراء وتأثير العديد من المعلمات مثل وقت التلامس، والتركيز الأولي لصبغة الملكيث، ودرجة الحموضة في المحلول، وكتلة الممتازات. تم تنفيذ نمذجة متساوي الحرارة باستخدام لونغمير فريندليش ومعاملات الارتباط التي تم الحصول عليها تشير الى نموذج فريندليش هو النموذج المناسب للممتازات وتخضع هذه الأخيرة الى نمذجة حركية الامتزاز لنموذج الدرجة الثانية.

**الكلمات الرئيسية:** الامتزاز؛ الكربون المنشط؛ صبغ؛ الملكيث الأخضر



## *Dédicace*

*Avant tous, je remercie Allah le tout puissant de m'avoir donné le courage et la patience pour réaliser ce travail malgré toutes les difficultés.*

*Je dédie ce mémoire à mes très chers parents :*

*A ma chère Maman, tous les phrases du monde ne pourraient jamais exprimer le degré d'amour et d'affection que je prouve pour toi, je suis ici grâce à vos prières constantes. Merci d'être venu me soutenir. Vous avez été la source de ma force tout au long de ma parcours universitaire du début à la fin Je t'aime mama.*

*A mon papa, Ce modeste travail est le fruit de tous les sacrifices que tu as déployés pour mon éducation et ma formation. Je t'aime papa et j'implore le tout-puissant pour qu'il t'accorde une bonne santé et une vie longue et heureuse.*

*A mes sœurs : Ikram et Youssra et soundous.*

*A mes cousines : et surtout iman, Asma, Sara, Meriem et leurs enfants Yanis, Amir, hemam, anes.*

*Et a tous ma famille grand et petit je vous aime tous.*

*A tous mes amis : Rahma, amira, manel, sans oublier mes amis d'enfance Malek et ghizlane ..... et tous mes amis de génie de l'environnement promo :  
2022 / 2023*

*A tout ce qui m'ont aidé de loin ou de près durant les moments difficiles.*



*Nesrine*



## Dédicace

*Avant tous, je remercie Allah le tout puissant de m'avoir donné le  
Courage et la patience pour réaliser ce travail malgré toutes les  
Difficultés.*

*Je dédie ce mémoire à mes très chers parents pour leurs soutiens morale  
Et financier dans les moments les plus ardues*

- *Chère maman, qui a œuvré pour ma réussite, de par son amour,  
Son soutien, tous les sacrifices consentis et ses précieux conseils,  
Pour tout son assistance et sa présence dans ma vie, ce travail Aussi  
modeste soit-il, l'expression de mes sentiments et de mon Éternelle  
gratitude.*
- *Cher papa, qui était tout au long de mes études un père, trouve ici  
Le sacre de tes encouragements, de ton soutien et de ton amour.  
Merci pour les valeurs nobles, l'éducation et le soutien Permanent.*
  - *À mes sœurs, Nesrine Youssra soundous.*
  - *À toute ma famille et mes amies qui m'ont soutenu je suis très  
spécial Sara ; iman ; Meriem ; Asma ; Selma ; Amina ;*
  - *À mon fiancé et sa petite famille amira.*
- *A tous mes amis de génie de l'environnement promo 2022 / 2023.*

*À tous ceux qui m'ont encouragé et soutenu durant les périodes Les plus  
pénibles avec tant d'amour.*



**Hakima Ikram**



## Dédicace

*Je voudrais dédier cet humble travail : À la personne devant  
qui les mots manquent*

*Pour exprimer ma gratitude, à ma chère mère Farida, à mon  
cher père Boudjema,*

*Qui m'a donné le courage et la volonté d'atteindre mes  
objectifs, qui m'ont Toujours*

*Soutenus et qui ont sacrifiés leurs vies Afin de faire de moi ce  
que je suis. Que dieu les Protège.*

*À la personne la plus chère à mon cœur, mon cher mari  
Yucef pour ses encouragements et son soutien dans les  
derniers jours de mes études.*

*À mes chers frères : Salim, Ibrahim, Amar.*

*À toute ma grande famille HADRI et la famille  
BOUHEDDOUF et la famille*

*AKOUCHE.*

*À mes amis et tous les gens qui m'aiment.*



**Saida**



## Remerciment

Ce mémoire a été réalisé au laboratoire du Halle technologie de l'université 20 Aout 1955 et Sonatrach de Skikda.

Avant tout, je remercie Dieu le tout puissant de m'avoir donné la volonté, la santé et le courage pour réaliser ce travail.

Ma gratitude à mon encadrement **Dr .BOUGHAITA Imen** de l'université de 20aout1955 de Skikda, département de génie des procédés, pour son dévouement ,sa motivation ,son aide et ses conseils assez utiles et fructueux ,qu'il n'a pas hésité à m'accorder et le grand souci dont il a montré pour la réalisation de ce travail .ce fut un grand plaisir de travailler avec lui .je dis tout simplement merci.

Je tiens également à remercier à madame KRID Ferial chef département de pétrochimie et génie des procédés à l'université 20 aout 1955 de Skikda pour ses efforts visant à offrir les bons milieux de travail aux étudiants.

Je remercie vivement les membres du jury pour m'avoir fait un grand honneur en acceptant d'évaluer mon travail.

Il m'est particulièrement agréable d'exprimer ma gratitude et ma reconnaissance à tout l'équipe du laboratoire de Hull technologie, y compris les ingénier et les responsables chacun en son nom pour leur amitié, leur gentillesse, leur soutien moral et leur confiance et la liberté d'agir dans laboratoire ;

Je également remercier tous les personnel de la raffinerie RA2K de Skikda pour à aider soutenu pendant toute la période du stage.

Enfin, je rends hommage et j'exprime ma reconnaissance à tous ceux qui ont contribué de près ou le loin à la réalisation de ce travail.

Merci 

# Sommer

Introduction générale .....01

Référence bibliographique

## **Première partie : Revue littéraire**

### **Chapitre I : Pollution des eaux**

**I.1.** Définition.....03

**I.2.**Classification de la pollution selon l'origine.....03

**I.2.1.** Pollution domestique.....03

**I.2.2.** Pollution industrielle.....04

**I.2.3.** Pollution agricole.....04

**I.3.** Types de pollution de l'eau.....05

**I.3.1.** Pollution chimique.....05

**I.3.2.** Pollution biologique .....05

**I.3.3.** Pollution thermique.....05

**I.3.4.** Pollution physique.....06

**I.4.** Les colorants.....06

**I.4.1.** Historique.....06

**I.4.2.** Définition d'un colorant.....06

**I.4.3.** Classification des colorants .....08

**I.4.3.1.** Les colorants naturels.....08

<b>I.4.3.2.</b> Les colorants synthétiques.....	08
<b>I.4.3.3.</b> Classification tinctoriale.....	12
<b>I.4.4.</b> Toxicité des colorants.....	13
<b>I.4.4.1.</b> Toxicité sur la santé humaine.....	14
<b>I.4.4.2</b> Toxicité sur l'environnement.....	14
<b>I.5.</b> Vert de Malachite.....	15
Références Bibliographiques	

## **Chapitre II : Phénomène d'adsorption sur les bio matériaux solides**

<b>II.1.</b> Définition.....	16
<b>II.2.</b> Différents types d'adsorption.....	17
<b>II.2.1.</b> Adsorption physique.....	17
<b>II.2.2.</b> Adsorption chimique.....	18
<b>II.2.3.</b> Etude comparative .....	18
<b>II.3.</b> Les paramètres influençant d'adsorption.....	19
<b>II.4.</b> Application de l'adsorption.....	20
<b>II.6.</b> Classification des isothermes d'adsorption.....	20
<b>II.7.</b> Modèles d'adsorption en phase liquide.....	22
<b>II.7.1.</b> Modèle de Langmuir .....	22
<b>II.7.2.</b> Modèle de Freundlich.....	23
<b>II.8.</b> Charbon actif .....	24
<b>II.9.</b> Préparation des charbons actifs.....	24

<b>II.9.1</b> Matières premières.....	24
<b>II.9.2.</b> La Pyrolyse.....	25
<b>II.9.3</b> L'Activation .....	25
Références Bibliographiques	

### **Chapitre III : Etat art**

<b>III.1.</b> Introduction.....	27
<b>III.2.</b> Résumé de quelques travaux scientifiques.....	27
Référence bibliographique	

### **Deuxième partie : Partie expérimentale**

#### **IV : Préparation et application des matériaux**

<b>IV.1.</b> Introduction.....	30
<b>IV.2.</b> Préparation du charbon actif à partir des déchets végétaux .....	30
<b>IV.3.</b> Etablissement de la courbe l'étalonnage du vert de malachite (VM).....	31
<b>IV.4.</b> Détermination de la quantité de l'adsorption.....	32
<b>IV.5.</b> Déterminations de rendement de l'adsorption.....	33
<b>IV.6.</b> Effet de quelques paramètres sur l'adsorption du vert de malachite.....	33
<b>IV.6.1.</b> Effet de la masse d'adsorbants .....	33
<b>IV.6.1.1.</b> Mode opératoire .....	33
<b>IV.6.1.2.</b> Résultats obtenus .....	34
<b>IV.6.2.</b> Effet du pH.....	34
<b>IV.6.2.1.</b> Mode opératoire .....	34
<b>IV.6.2.2.</b> Résultats obtenus .....	35
<b>IV.7.</b> Etude de l'adsorption du vert de malachite.....	35

<b>IV.7.1.</b> Influence des différentes concentrations du vert de malachite par l'adsorption sur CA_HCl.....	35
<b>IV.7.1.1.</b> Mode opératoire .....	35
<b>IV.7.1.2.</b> Résultats obtenus .....	37
<b>IV.7.2.</b> Influence de la concentration du vert de malachite sur la capacité d'adsorption du CA_H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> .....	37
<b>IV.7.2.1.</b> Mode opératoire.....	37
<b>IV.7.2.2.</b> Résultat obtures.....	38
<b>IV.8.</b> Isotherme de l'adsorption de vert de malachite sur CA_HCl et CA_H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> .....	38
<b>IV.8.1.</b> Modélisation des isothermes d'adsorption.....	39
<b>IV.8.1.1.</b> Résultats obtenus.....	40
<b>IV.9.</b> Modélisation des cinétiques d'adsorption .....	41
<b>IV.9.1.</b> Résultat obtenu .....	43
Conclusion générale .....	44
Références Bibliographiques	

## Liste des tableaux

<b>Tableaux</b>	<b>Titre</b>	<b>Page</b>
<b>Tableau I.1</b>	Principaux groupements chromophores et auxochromes, classés par intensité croissante des colorants	7
<b>Tableau II.1</b>	Etude comparative entre l'adsorption physique et adsorption chimique	18
<b>Tableau IV.1</b>	Etalonnage pour la détermination de la concentration en vert de malachite	35
<b>Tableau IV.2</b>	L'effet de variation de la masse des l'adsorbants sur l'adsorption de vert de malachite	36
<b>Tableau IV.3:</b>	Optimisation de pH sur l'adsorption du vert de malachite sur CA_HCl et CA_H <sub>2</sub> O <sub>2</sub>	38
<b>Tableaux IV.4</b>	Effet de la concentration de la solution en vert de malachite sur la capacité d'adsorption de CA_HCl	39
<b>Tableaux IV.5</b>	Effet de la concentration de la solution en vert de malachite sur la capacité d'adsorption de CA_H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> .	41
<b>Tableau IV.6 :</b>	Résultats de la modélisation de l'adsorption du vert de malachite en solution aqueuse sur le CA_HCl et CA_H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> , par les modèles de Langmuir et Freundlich.	43
<b>Tableau IV.7</b>	Résultats des modèles cinétiques de l'adsorption de vert de malachite sur le CA_HCL et CA_H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> .	45

## Liste des figures

<b>Figure</b>	<b>Titre</b>	<b>Page</b>
<b>Figure I.1</b>	Les pollutions de l'eau l'urbanisme	3
<b>Figure I.2</b>	Pollution de l'eau industrielle	4
<b>Figure I.3</b>	Pollution agricole	5
<b>Figure I .4</b>	Structure moléculaire d'un colorant azoïque	8
<b>Figure I .5</b>	Structure moléculaire d'un colorant anthraquinonique	9
<b>Figure I .6</b>	Structure moléculaire d'un colorant indigoïde	10
<b>Figure I .7</b>	Structure moléculaire d'un colorant xanthène	10
<b>Figure I .8</b>	Structure moléculaire d'un Colorants phtalocyanines	11
<b>Figure I .9</b>	Structure moléculaire d'un colorant nitré et nitrosé	11
<b>Figure I.10</b>	Structure moléculaire d'un colorant triphénylméthane	12
<b>Figure II .1</b>	Phénomène d'adsorption	16
<b>Figure II .2</b>	Schéma de l'adsorption physique	17
<b>Figure II.3</b>	Classification des isothermes d'adsorption	20
<b>Figure IV.1</b>	Conditions et matériel de préparation de charbon actif	33
<b>Figure IV.2</b>	Préparation des solutions en vert de malachite	35
<b>Figure IV.3</b>	Courbe d'étalonnage de vert de malachite dans une solution aqueuse	35
<b>Figure IV.4</b>	L'effet de masse des adsorbants sur l'élimination de vert de malachite	37
<b>Figure IV.5</b>	L'effet de pH sur l'adsorption du vert de malachite en solution aqueuse	38
<b>Figure IV.6</b>	Effet des différentes concentrations de la solution en vert de malachite sur la capacité d'adsorption de CA_HCl	49

<b>Figure IV.7</b>	Effet des différentes concentrations de la solution en vert de malachite sur la capacité d'adsorption de CA_H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> .	40
<b>Figure IV.8</b>	Représentation graphique des isothermes d'adsorption du vert de malachite sur Le CA_HCl et sur CA_H <sub>2</sub> O <sub>2</sub>	42
<b>Figure IV.9</b>	Application du modèle de Langmuir pour l'adsorption du vert de malachite sur CA_HCl et sur CA_H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> .	42
<b>Figure IV.10</b>	Application du modèle de Freundlich pour l'adsorption du vert de malachite sur CA_HCl et sur CA_H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> .	43
<b>Figure IV.11</b>	Représentation graphique de la modélisation de la cinétique d'adsorption sur CA_HCl (a) et CA_H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> (b) ; par le modèle de pseudo premier ordre.	44
<b>Figure IV.12</b>	Représentation graphique de la modélisation de la cinétique d'adsorption sur CA_HCl (c) et CA_H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> (d) par le modèle de pseudo second ordre.	45



# ***Introduction générale***

### Introduction générale

La pollution des eaux issues des rejets industriels est un sérieux problème dans plusieurs pays. Les rejets des effluents colorés dans la nature n'est pas seulement désagréable pour l'environnement mais affecte beaucoup de cycles biologiques [1]. Ces rejets présentent un véritable danger pour l'homme et son environnement en raison de leur stabilité et de leur faible

biodégradabilité [2]. Plusieurs traitements ont été utilisés pour diminuer l'effet néfaste des effluents rejetés. Les procédés traditionnels tels que les procédés biologiques donnent des résultats non satisfaisants, du fait de la composition de ces rejets en matières toxiques et colorants qui sont difficilement biodégradables [3].

La technique de l'adsorption est la méthode la plus favorable pour l'élimination des polluant est devenue une méthode analytique de choix, très efficace et simple dans son utilisation.

Les procédés de protection de l'environnement suscitent une attention particulière dans la recherche de matériau adsorbant tel que les charbons actifs. Le charbon actif est le produit final obtenu par un processus d'activation physique ou chimique, de tout matériau contenant un fort pourcentage de carbone [4].

Le phénomène d'adsorption sur un charbon actif semble être bien adapté par la valorisation d'un déchet de l'agriculture afin élaborer un charbon actif [5], à cet effet dans ce travail nous sommes intéressés de préparer un charbon actif issu de déchets des Coquille de noix et coquille d'amande et la modification de la surface du charbon actif par l'activation chimique dans une solution HCl et H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> par la comparaison des capacités d'adsorption du charbon actif CA\_HCl et charbon actif CA\_H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> vis-à-vis d'un pollution émergent dans l'eau tel un colorant vert de malachite.

Ce travail est composé de quatre chapitres, les trois premiers chapitres sont consacrés à la partie théorique et le quatrième chapitre contient la partie expérimentale.

Le chapitre présente la pollution des eaux, les différents types de polluants tels que et les colorants.

Le chapitre II est une synthèse bibliographique soulignant les notions fondamentales sur le phénomène d'adsorption (définition, types...etc.)

Le chapitre III contient quelques travaux scientifiques sur la préparation des CA a partir de la biomasse végétale et leur application.

Le dernier chapitre présente les résultats obtenus ainsi que leur discussion concernant l'étude de l'élimination du vert de malachite (VM) par adsorption sur les matériaux préparés. Cette partie nous a permis de déterminer les conditions optimales pour éliminer le colorant.

Nous avons établi les isothermes d'adsorption du (VM) et appliqué les modèles de Freundlich et de Langmuir ainsi que la modélisation des cinétiques d'adsorption. Cette étude est complétée par une conclusion générale.

## Références Bibliographiques

- [1] SAKER, Farida., SENNAOUI, A., ELOUARDI, M., et al. Étude de l'adsorption du Bleu de Méthylène sur un biomatériau à base de Cactus (Adsorption study of Methylene Blue on biomaterial using cactus). *Journal of materials and Environnemental Science*, 2015, vol. 6, no 2, p. 397-406.
- [2] BENGUELLA, Belkacem et Yacouta-nour, Aicha. Elimination des colorants acides en solution aqueuse par la bentonite et le kaolin. *Comptes Rendus Chimie*, 2009, vol. 12, no 67, p. 762-771.
- [3] BACHIR, KHALFAOUI. Adsorption des polluants organiques par les charbons actifs. Thèse de doctorat.2020. Faculté des Sciences et Technologies.
- [4] A. Houas, I. Bakir, M. Ksibi, E. Elaloui. Etude de l'élimination du bleu de méthylène dans l'eau par le charbon actif commercial CECA40, *J. Chim. Phys*, vol 96, (1999), pp 479-486.
- [5] Boughaita.i. Essais de dépollution des eaux contaminées par un composé organique par l'utilisation de nouveaux biosorbant. Thèse de doctorat université Skikda, 2018.

# *Chapitre 1*

## I.1. Définition

La pollution de l'eau est une forme de contamination qui se produit lorsque des substances nocives sont déversées ou déversées dans les plans d'eau tels que les rivières, les lacs, les océans, les nappes phréatiques, etc. Ces substances peuvent provenir de différentes sources, notamment l'agriculture, l'industrie, les activités minières, les déchets humains et animaux, etc. La pollution de l'eau peut avoir des effets néfastes sur la santé humaine, la faune et l'environnement dans son ensemble.

## I.2. Classification de la pollution selon l'origine

### I.2.1. Pollution domestique

La teneur en substances indésirables n'est pas toujours le fait de l'activité humaine. Certains phénomènes naturels peuvent également y contribuer. Par exemple, le contact de l'eau avec les gisements minéraux peut, par érosion ou dissolution, engendrer des concentrations inhabituelles en métaux lourds, en arsenic ...etc. Peuvent aussi être à l'origine de pollutions. La pollution domestique se caractérise par la présence de germes fécaux, des fortes teneurs en matière organique, des sels minéraux et détergents [1].



Figure I.1 : les pollutions de l'eau l'urbanisme [1]

## I.2.2. Pollution industrielle

Elle est caractérisée par la présence d'une grande diversité de polluants, selon l'utilisation de l'eau, tel que : les hydrocarbures, les métaux, les acides, les bases, les produits chimique divers, les colorants et les matières radioactives [2] .



**Figure I.2** : pollution de l'eau industrielle [2].

## I.2.3. Pollution agricole

L'agriculture constitue la première cause de pollution diffuse des ressources en eau. Lorsque l'on considère les pollutions d'origine agricole, il faut englober à la fois celles qui ont trait aux cultures et l'élevage. Les activités agricoles sont, en particulier, largement impliquées dans les apports d'azote et surtout, de ses dérivés, nitrates et nitrites, que l'on trouve en forte concentration dans les engrais, mais aussi dans les lisiers et purins d'élevage. Les pesticides utilisés pour le traitement des cultures sont également une source connue de dégradation des ressources en eau. Sous l'appellation " produits phytosanitaires" en cache en fait une multitude de substances, dont la rémanence dans l'eau peut varier d'une molécule à l'autre. Toutefois, on retiendra que les organochlorés sont généralement plus rémanents que les organophosphorés [3].



**Figure I.3** : pollution agricole [3]

### **I.3. Types de pollution de l'eau :**

#### **I.3.1. Pollution chimique**

La pollution chimique de l'eau peut être causée par des produits chimiques tels que les métaux lourds, les produits pétroliers, les produits chimiques industriels et agricoles, les pesticides, les herbicides, les engrais, etc. Ces produits chimiques peuvent entraîner des problèmes de santé graves chez les humains et les animaux, ainsi que la destruction de la faune et de la flore aquatiques.

#### **I.3.2. Pollution biologique**

La pollution biologique de l'eau est causée par des micro-organismes tels que les bactéries, les virus, les parasites et les algues. Ces micro-organismes peuvent être introduits dans l'eau par des déchets humains et animaux, des installations d'assainissement inadéquates, des activités agricoles, etc. Cette pollution peut entraîner des maladies chez les humains et les animaux, ainsi que des effets négatifs sur les écosystèmes aquatiques.

#### **I.3.3. Pollution thermique**

La pollution thermique de l'eau se produit lorsque des eaux chaudes sont déversées dans des plans d'eau. Cela peut être causé par des centrales électriques, des usines industrielles, etc. Cette pollution peut perturber les écosystèmes aquatiques en augmentant la température de l'eau et en réduisant la quantité d'oxygène dissous dans l'eau, ce qui peut causer la mort des poissons et d'autres organismes aquatiques.

**I.3.4. Pollution physique**

La pollution physique de l'eau est causée par la présence de déchets solides tels que les déchets plastiques, les débris, les emballages, etc. Cette pollution peut entraîner des problèmes de santé pour les humains et les animaux, ainsi que des perturbations pour les écosystèmes aquatiques.

En somme, la pollution de l'eau est une préoccupation majeure dans le monde entier et nécessite des efforts continus pour lutter contre les différentes sources de pollution et protéger les plans d'eau pour les générations futures.

**I.4. Les colorants****I.4.1. Historique**

Depuis le début de l'humanité, les colorants ont été appliqués dans pratiquement toutes les sphères de notre vie quotidienne pour la peinture et la teinture du papier, de la peau et des vêtements, etc. Jusqu'à la moitié du 19<sup>ème</sup> siècle, les colorants appliqués étaient d'origine naturelle. Des pigments inorganiques tels que l'oxyde de manganèse, l'hématite et l'encre étaient utilisées. Par ailleurs, des colorants naturels organiques ont été appliqués qui proviennent essentiellement des plantes, telles que l'alizarine et l'indigo. L'industrie des colorants synthétiques est née en 1856 quand le chimiste anglais WILLIAM HENRY PERKIN, dans une tentative de synthèse de la quinine artificielle pour soigner la malaria, a obtenu la première matière colorante synthétique qu'il appela (mauve) (aniline, colorant basique). Perkin a breveté son invention et il a installé une chaîne de production, qui serait bientôt suivie par d'autres. De nouveaux colorants synthétiques commencent à paraître sur le marché. Ce processus a été stimulé par la découverte de la structure moléculaire du benzène en 1865 par Kékulé. En conséquence, au début du 20<sup>ème</sup> siècle, les colorants synthétiques ont presque complètement supplantés les colorants naturels [4].

**I.4.2. Définition d'un colorant**

Un colorant désigne un produit capable de teindre une substance d'une manière durable. Il est caractérisé par un assemblage de groupements chromophores, autochromes et des

structures aromatiques conjuguées [5]. Ces groupements possèdent la propriété de transformer la lumière blanche dans le spectre visible (de 380 à 750 nm) [6], en lumière colorée. Les chromophores sont des groupements d'atome qui portent ou moins une double liaison et ils forment avec le reste de la molécule une séquence conjuguée [6]. Ces groupements sont les responsables de la coloration de la molécule.

Le tableau (I-1) présente une liste des principaux groupements chromophores classés par intensité croissante. Les autochromes sont des groupes d'atomes ionisables capables de changer la fréquence d'adsorption d'un chromophore [7]. Ils permettent la fixation des colorants sur la substance.

**Tableau I.1** : Principaux groupements chromophores et auxochromes, classés par intensité croissante des colorants [8].

Groupements chromophores	Groupements auxochromes
Azo (-N=N-)	Amino (-NH <sub>2</sub> )
Nitroso (-NO ou -N-OH)	Méthylamino (-NHCH <sub>3</sub> )
Carbonyl (=C=O)	Diméthylamino (-N(CH <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> )
Vinyl (-C=C-)	Hydroxyl (-HO)
Nitro (-NO <sub>2</sub> ou =NO-OH)	Alkoxy (-OR)
Sulphure (>C=S)	Groupements donneurs d'électrons

### I.4.3. Classification des colorants

#### I.4.3.1. Les colorants naturels

Un colorant naturel, comme son nom l'indique est une substance colorée qui provient d'un produit naturel, minéral, végétal ou animal. Les plus connus sont les chlorophylles qui donnent la couleur verte, la betterave rouge, le charbon médicinal végétal qui donne la couleur noire, et la riboflavine donne aux beurres et margarines blanches leur couleur jaune etc...

#### I.4.3.2. Les colorants synthétiques

Les colorants synthétiques sont classés selon leur structure chimique et leur méthode d'application sur différents substrats.

##### ➤ Les colorants azoïques

Les colorants azoïques présentés dans la figure I.4, sont caractérisés par la présence du groupement chromophore N=N reliant deux molécules généralement des aryles. Suivant le nombre de chromophores rencontrés dans la molécule, on distingue trois types de colorants azoïques à savoir les mono azoïques, diazoïques et polys azoïques [9]. Ce type de colorant est caractérisé par les groupements réactifs qui forment des liaisons covalentes avec les groupes de -OH, -NH ou -SH des fibres (coton, laine, soie, nylon) [10].

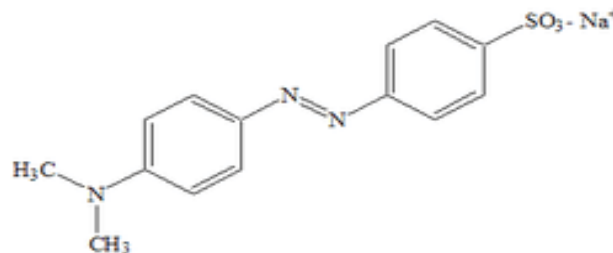
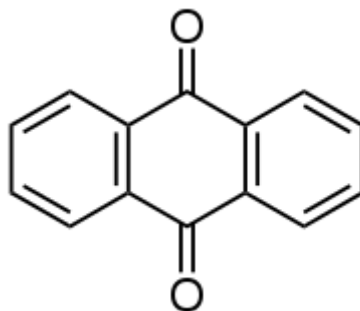


Figure I .4 : Structure moléculaire d'un colorant azoïque

➤ **Les colorants anthraquinoniques :**

L'anthraquinone (figure I.5) est un dérivé de l'anthracène. Il existe à l'état naturel dans certaines plantes (la bourdaine, le séné, l'aloès, la rhubarbe). La molécule de base de ce groupe de colorants est l'anthraquinone qui présente le groupe chromophore carbonyle ( $>C=O$ ) sur un noyau quinonique. Ces produits sont utilisés pour la coloration des fibres polyester, acétate et tri acétate de cellulose. Malgré leurs méthodes complexes de fabrication, les colorants anthraquinoniques sont les plus importants après les colorants azoïques, et trouvent une grande variété d'applications notamment lorsque leur stabilité de coloration est supérieure à celle des colorants azoïques, la plupart du temps ils représentent les meilleures stabilités à la lumière et aux agents chimiques [11].

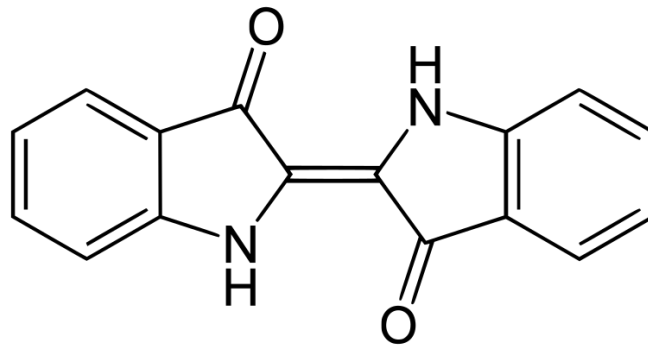


**Figure I .5 :** Structure moléculaire d'un colorant anthraquinonique

➤ **Les colorants indigoïdes**

Les colorants indigoïdes tirent leur appellation de l'indigo dont ils dérivent. Ainsi, les homologues sélénisés, soufrés et oxygénés du bleu indigo provoquent d'importants effets hypochromes avec des coloris pouvant aller de Lorange au turquoise.

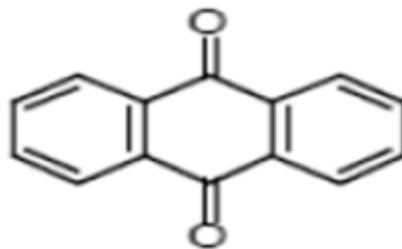
Les colorants indigoïdes sont utilisés comme colorant en textile, comme additifs en produit pharmaceutique, la confiserie, ainsi que dans des diagnostic médicales [12,13].



**Figure I .6** Structure moléculaire d'un colorant indigoïde

➤ **Les colorants xanthènes**

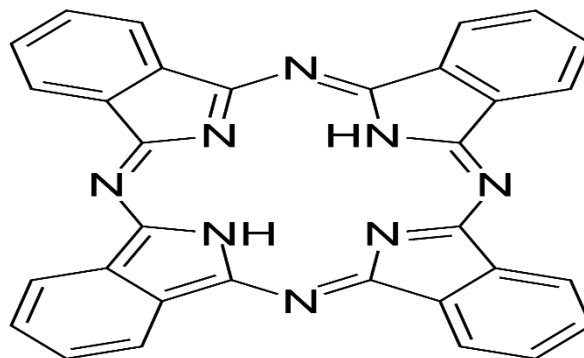
Les colorants xanthènes dont le composé le plus connu est la fluorescéine, sont dotés d'une intense fluorescence. Peu utilisés en tant que teinture, leur usage est bien établi comme marqueurs lors d'accidents maritimes ou comme traceurs d'écoulement pour des rivières souterraines, des flux de rejets, etc..... [14]. Ils sont aussi utilisés comme agents de traçage dans des produits tels que les cosmétiques, les drogues, les encres, les textiles, le cuir, etc... [15]. Leur structure est présentée dans la figure I.7.



**Figure I .7 :** Structure moléculaire d'un colorant xanthène

➤ **Colorants phtalocyanines :**

Ils sont formés à partir de quatre groupements phtalimides et d'un atome de métal. Ils sont retrouvés dans les couleurs turquoise et vert vif [16].

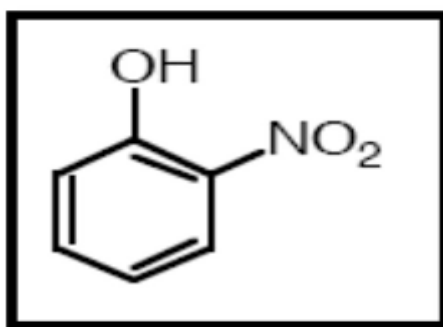


**Figure I.8 :** Structure moléculaire d'un Colorants phtalocyanines

➤ **Les colorants nitrés et nitrosés :**

Forment une classe de colorants très limités en nombre et relativement ancienne. Ils sont actuellement encore utilisés, du fait de leur prix très modéré lié à la simplicité de leur structure moléculaire caractérisée par la présence d'un groupe nitro ( $-NO_2$ ) en position ortho d'un groupement électro donneur (hydroxyle ou groupe aminé) [17].

Ces composés nitrés sont à la base des colorants anioniques dispersés ou à des pigments dans des nuances limitées au jaune et au brun.

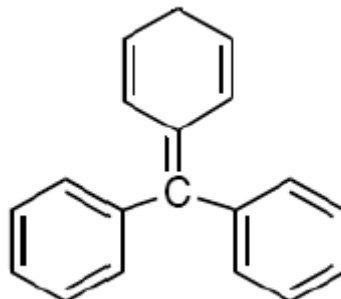


**Figure I.9 :** Structure moléculaire d'un colorant nitré et nitrosé

➤ **Colorants triphénylméthanes**

Les triphénylméthanes sont des dérivés du méthane pour lesquels les atomes d'hydrogène sont remplacés par des groupes phényles substitués dont au moins un est porteur d'un atome d'oxygène ou d'azote en para vis-à-vis du carbone méthanique.

Le triphénylméthane et ses homologues constituent les hydrocarbures fondamentaux dont dérivent toute une série de matières colorantes. Exemple : Vert de malachite [16].



**Figure I.10 :** Structure moléculaire d'un colorant triphénylméthane

#### I.4.3.3. Classification tinctoriale

➤ **Les colorants acides ou anioniques :**

Les colorants acides ou anioniques Les colorants acides sont des colorants à faible poids moléculaire, habituellement avec une structure monoazoïque, diazoïque ou anthraquinone et sont connus pour leur capacité à réaliser des nuances brillantes. Leurs petites tailles leur permettent de diffuser rapidement dans des matériaux complexes comme le cuir. Ils sont parfois appelés des colorants pénétrants. Le processus de teinture implique une étape acide, d'où le nom de cette classe. Les colorants acides azoïques sont utilisés pour la teinture et L'impression principalement de la laine et du polyamide, ainsi que des matériaux tels que la soie, le cuir, le papier et les aliments [18].

➤ **Les colorants basiques ou cationiques**

Les colorants basiques ou cationiques sont des sels d'amines organiques, qui leur confèrent une bonne solubilité dans l'eau. Les liaisons se font entre les sites cationiques de ces colorants et les sites anioniques des fibres. En phase de disparaître dans la teinture de la laine et de la soie, ces colorants ont bénéficié d'un regain d'intérêt avec l'apparition des fibres acryliques sur lesquelles ils permettent des nuances très vives et résistantes [19].

➤ **Les colorants de cuve**

Les colorants de cuve sont essentiellement insolubles dans l'eau. Le colorant est traité par une liqueur alcaline qui le réduit à une forme leuco, qui a une bonne affinité pour le coton et les autres fibres de cellulose. Lorsque le colorant s'oxyde, la couleur est développée. Ce groupe de colorants est dominé par l'antraquinone et les colorants indigoïdes [18].

➤ **Colorants réactifs**

Les colorants réactifs constituent la dernière classe de colorant apparue sur le marché. Leur utilisation est très importante, notamment dans le domaine de l'habillement (la solidité à la lumière n'est suffisante que pour des applications en ameublement). Ils contiennent des groupes chromophores issus essentiellement des familles azoïques, anthraquinonique et phtalocyanine. Leur appellation est liée à la présence d'une fonction chimique réactive, de type triazinique ou vinylsulfone assurant la formation d'une liaison covalente forte avec les fibres. Solubles dans l'eau, ils entrent dans la teinture du coton et éventuellement dans celle de la laine et des polyamides [19].

➤ **Les colorants directs**

Les colorants directs sont des colorants solubles dans l'eau (présence de groupes sulfonates) et essentiellement des colorants azoïques ou aussi des phtalocyanine. Les avantages principaux de ces colorants sont la grande variété des coloris, leur facilité d'application et leur prix modique. Par contre, leur inconvénient principal réside dans leur faible solidité au mouillé [20].

#### **I.4.4. Toxicité des colorants :**

Par définition, la toxicité est la mesure de la capacité d'une substance à provoquer des effets néfastes sur toute forme de vie, telle qu'un être humain, une bactérie ou une plante ou une sous-structure de cet organisme tel que le foie. Le sujet d'une étude toxicologique se fait sur une substance ou sur les conditions externes et leurs effets délétères sur les organismes vivants, tissus, cellules ou organites. Selon la dose on distingue trois formes de toxicité : La toxicité aiguë, la toxicité sub-aiguë, la toxicité à long terme [21].

## I.4.4.1. Toxicité sur la santé humaine

Plusieurs travaux de recherche sur les effets toxiques des colorants sur la santé humaine ont été développés. Des réactions allergiques, asthme quelque fois et surtout des dermatites eczémateuses ont été observés avec divers colorants aminés azoïques, anthraquinoniques, ainsi qu'avec certains colorants du groupe des naphthalènes (chélite de rouge).

Les colorants de synthèse à base d'amines entraînent des risques cancérogènes, des tumeurs urinaires et plus spécialement les tumeurs de la vessie. D'autres recherches ont signalé que la tartrazine développe un certain nombre de réactions adverses chez certains individus comme le prurit, l'œdème, l'urticaire, l'asthme et la rhinite. Les colorants azoïques sont aussi responsables d'apparition d'hépatomes chez l'homme [22].

## I.4.4.2 Toxicité sur l'environnement :

Les colorants peuvent être toxiques pour l'environnement s'ils ne sont pas correctement utilisés, gérés et éliminés. Les colorants synthétiques sont généralement dérivés de composés organiques complexes qui peuvent être persistants et toxiques pour les organismes aquatiques et terrestres. Les colorants peuvent également altérer la qualité de l'eau et du sol, affectant ainsi les écosystèmes naturels.

Les problèmes environnementaux associés à l'utilisation de colorants peuvent inclure :

- **Pollution de l'eau** : Les colorants peuvent être rejetés dans les eaux usées provenant de l'industrie textile, de la teinture et de l'impression, où ils peuvent entraîner une décoloration et une turbidité de l'eau. Ils peuvent également interférer avec le processus de photosynthèse des plantes aquatiques, ce qui peut affecter la vie aquatique.
- **Pollution des sols** : Les colorants peuvent être libérés dans les sols lorsqu'ils sont appliqués sur des tissus ou des vêtements, ce qui peut affecter la qualité du sol et nuire à la croissance des plantes.
- **Impacts sur la santé animale** : Les colorants peuvent également affecter la santé des animaux, notamment des poissons et des oiseaux, qui peuvent être exposés à des niveaux toxiques de colorants dans l'eau ou les aliments.
- Pour minimiser les impacts environnementaux, il est important de prendre en compte les aspects environnementaux lors de la conception et de la fabrication de colorants. Les fabricants peuvent utiliser des colorants naturels ou organiques qui sont moins toxiques

pour l'environnement et peuvent être dégradés plus facilement. Les industries peuvent également recycler les eaux usées et les colorants pour minimiser les déchets. Enfin, les consommateurs peuvent choisir des produits contenant des colorants naturels ou éviter les produits contenant des colorants synthétiques.

### **I.5. Vert de Malachite**

Le Vert de malachite (ou Vert d'Aniline, ou Vert de Diamant B) est un produit de Sigma-Aldrich. C'est un colorant cationique de la classe des triphénylméthanes, il se présente sous forme de cristaux verts aux reflets métalliques, très solubles dans l'eau, stable dans des conditions normales d'utilisation et de stockage. Ce colorant est un produit chimique toxique principalement connu pour ses qualités de colorant bleu-vert. Le nom de Vert de Malachite provient du nom du carbonate minéral, la Malachite. Il est employé pour traiter les parasites, les infections fongiques et les infections bactériennes dans le poisson et les œufs de poisson. Il possède également des propriétés bactériologiques. Cependant, en 1992, au Canada, on a montré qu'il existait un risque sanitaire significatif pour les humains qui ont mangé des poissons contenant du Vert de Malachite et le composé a été répertorié toxique. Il s'est avéré que la molécule était toxique pour les cellules humaines et qu'il y existait une possibilité qu'elle soit la cause de la formation de tumeurs au foie. Cependant, en raison de sa facilité et du faible coût de sa synthèse, il est encore employé dans certains pays avec des lois moins restrictives.

## Références Bibliographiques

- [1] Mechai .H ; Evaluation de la résistance aux antibiotique des microorganismes pathogènes ; mémoire magister : université Badji-mokhtar. ANNABA ,2005.
- [2] Beyade.S; Caractérisation de la composition chimique des eaux usées traitées de la STEP de Sebkha ; Mémoire de stage de fin d'études : université Cade Ayyad. Nouakchott,2012-2013.
- [3] Djilani.C, 2006.Analyse et traitement des eaux de rejet de l'unité VCM du complexe pétrochimique de Skikda, Mémoire de magister. Université de Skikda.
- [4] Hami. B ; Encyclopédie universalise, les colorants, 2003
- [5] R. Fghire, H. EL Bouhali, M. Esshaimi, A. Khouhaddou, Caractérisation d'un colorant naturel LP GAMU : Model TEUI, magister, université de Cadi Ayyad Marrakech (2006).
- [6] H. Ben Mansour, O. Boughzala, D. Dridi, D. Barillier, L. Chekir-Ghedira et R. Mosrati, Les colorants textiles sources de contamination de l'eau : CRIBLAGE de la toxicité et des méthodes de traitement, Revue des sciences de l'eau/Journal of Water Science, 24, 3 (2011) 209-238.
- [7] K. Mme Madi-Azegagh, Utilisation de l'électrocoagulation pour l'élimination de colorant et d'autres contaminants en milieux aqueux, Thèse de doctorat, université de Bejaia (2016).
- [8] H. Chenini., Etude de la dégradation par voie photochimique de polluant organique « Orange G » en milieu aqueux homogène et hétérogène, Thèse doctorat, Université Mentouri Constantine,2014
- [9] Merouani, Djillali Reda. Traitement de colorants azoïque et anthraquinonique par procédés d'oxydation avancée (POA). 2011. Thèse de doctorat. Université de Lille 1.
- [10] BAUER, Christophe, JACQUES, Patrice, et KALT, André. Photooxidation of an azo dye induced by visible light incident on the surface of TiO<sub>2</sub>. Journal of Photochemistry and Photobiology A : Chemistry, 2001, vol. 140, no 1, p. 87-92.
- [11] S. Moumenine, élimination de polluants des eaux d'usines par adsorption sur charbon de chêne en combinaison avec un désinfectant, Thèse de magister, Université Abou BekrBelkaid, Tlemcen (2011).

[12] M. stolte, M. Vieth, Acta Endosc. 31 (2) (2001) 125\_130.

[13] S. Moncada, R.M. Palmer, E.A. Higgs, Pharmacol. Rev. 43 (1991) 109\_142.

[14] MANSOUR, Hedi, BOUGHZALA, Oualid, BARILLIER, Daniel, et al. Les colorants textiles sources de contamination de l'eau : CRIBLAGE de la toxicité et des méthodes de traitement. Revue des sciences de l'eau/Journal of Water Science, 2011, vol. 24, no 3, p. 209238.

[15] NESTMANN, Earl R., DOUGLAS, George R., MATULA, Tibor I., et al. Mutagenic activity of rhodamine dyes and their impurities as detected by mutation induction in Salmonella and DNA damage in Chinese hamster ovary cells. Cancer Research, 1979, vol. 39, no 11, p. 4412-4417.

[16] Mme Nassima LAID, étude comparative de la photodégradation d'un colorant cationique et d'un colorant anionique en phase homogène et hétérogène : modélisation des cinétiques à l'aide des plans d'expérience, Thèse de doctorat ,2017.

[17] S. CHETIOUI. « Structures et propriétés physico-chimiques de substances colorantes de synthèse ». Magister, Université Mentouri Constantine (2010).

[18] Mr BENDJABEUR Seyfeddine, étude comparative de la dégradation de colorants de la famille des triphénylméthanes par voies photochimique et sonochimique en solution aqueuse homogène et hétérogène, thèse de doctorat 2016.

[19] Sihem ALIOUCHE, Etude de l'élimination de deux colorants (Cristal violet et Jaune d'alizarine) par des procédés photochimiques en milieu homogène (lumière artificielle et solaire) et en milieu hétérogène (TiO<sub>2</sub>/UV et ZnO/UV). Cas de la transformation photocatalytique du Jaune d'alizarine sur un support transformé : ZnO-Bi<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/UV THESE doctorat, université de Bejaia, le 2017.

[20] A. Attia, W. E. Rashwan, S. A. Khedr, Capacity of activated carbon in the removal of acid dyes subsequent to its thermal treatment., Dyes and Pigments, 69 (2006) 128-136.

[21] : HASSEN TRABELSI, Etude de la dégradabilité et de la toxicité des colorants par ozonation et photocatalyse, thèse de doctorat, université de Monastir ,2011.

[22] : Melle ZEMOURI Kahina, Etude de l'adsorption de colorants organiques (Bleu de Méthylène et Méthyle Orange) sur les coquilles de noix de coco, thèse, Université Abderrahmane MIRA de Bejaia ,2017.

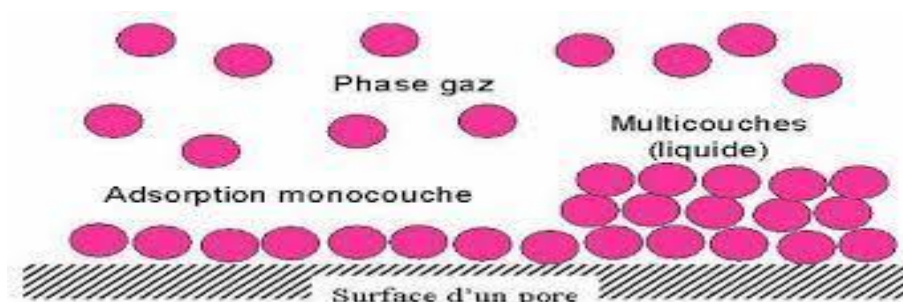
# *Chapitre II*

## II.1. Définition

Le procédé de séparation par adsorption constitue aujourd'hui une des technologies les plus importantes, elle est largement utilisée pour la dépollution et la purification dans des domaines très variés, tel que les industries pétrolières, pétrochimique et chimique, aux applications environnementales et pharmaceutique [1].

L'adsorption est un procédé de traitement, bien adapté pour éliminer une très grande diversité de composés toxiques dans notre environnement. Elle est essentiellement utilisée pour le traitement de l'eau et de l'Air. Au cours de ce processus les molécules d'un fluide (gaz ou liquide), appelé adsorbat, viennent se fixer sur la surface d'un solide, appelé adsorbant. Ce procédé définit la propriété de certains matériaux de fixer à leur surface des molécules (gaz, ions métalliques, molécules organiques, etc.) d'une manière plus ou moins réversible.

Les adsorbants utilisés dans la pratique sont caractérisés par une structure microporeuse qui leur confère une très grande surface active par unité de masse. Se sont soit de nature organique (végétal ou animal), soit de nature minérale, et ils sont employés tels quels ou après un traitement d'activation ayant pour but d'augmenter la porosité. Les adsorbants les plus utilisés dans les applications de traitements des eaux sont les suivant : argile, charbon actif, gel de silice, alumine et tamis moléculaire [2].



**Figure II .1.** Phénomène d'adsorption [2]

## II.2. Différents types d'adsorption

Selon la nature des forces qui retiennent la molécule adsorbée à la surface du solide, on distingue deux types d'adsorption :

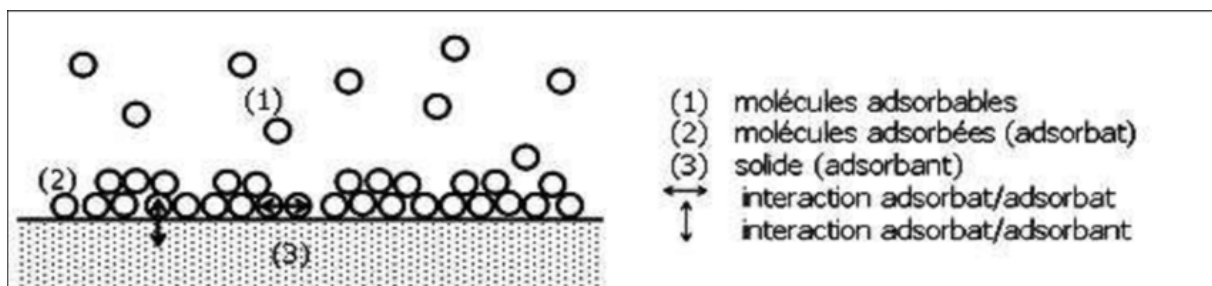
### II.2.1. Adsorption physique

C'est une adsorption de type physique, qui se produit lorsque les forces qui fixent l'adsorbat dans une couche à la surface de l'adsorbant sont du même ordre que les forces de van der Waals.

Ce type d'adsorption se caractérise par :

- La rapidité dans l'établissement de l'équilibre entre la phase adsorbée et la phase fluide.
- Une chaleur d'adsorption sensiblement du même ordre que la chaleur de liquéfaction du gaz adsorbé.
- Une réversibilité relativement facile et une absence de spécificité [3].
- Les valeurs d'enthalpie d'adsorption se situent souvent autour de 10 kJ/mol [4].

Ce phénomène consiste essentiellement en la condensation de molécules sur la surface du solide favorisée par un abaissement de la température [5].



**Figure II .2.** Schéma de l'adsorption physique [5]

### II.2.2. Adsorption chimique

La chimisorption s'accompagne d'une profonde modification de la répartition des charges électroniques des molécules adsorbées qui conduit à la rupture de liaisons chimiques entre l'adsorbant et l'adsorbat. Celle-ci peut être covalente ou ionique.

La chimisorption est donc complète lorsque tous les centres actifs présents à la surface ont établi une liaison avec les molécules de l'adsorbat, les forces mis en jeu sont du même type que celles qui sont impliquées lors de la formation des liaisons chimiques spécifiques [6, 7].

Dite chimisorption est un phénomène irréversible due à une liaison chimique forte de type covalent entre les atomes superficiels du solide et les molécules adsorbées, ce type d'adsorption met en jeu des énergies d'attraction élevée, qui conduisent à des chaleurs d'adsorption élevées, approchant souvent aux énergies de liaisons chimiques covalentes de l'ordre de 20 à 80 Kcal/mol. D'après WEBER [8], l'adsorption chimique ne concerne qu'une fraction très petite de la surface intra particulaire totale du charbon.

### II.2.3. Etude comparative

**Tableau II.1. Etude comparative entre l'adsorption physique et adsorption chimique**

Propriétés	Adsorption chimique	Adsorption physique
Type de liaison	Liaison chimique	Liaison de van Der Waals
Température de processus	Plus élevée que la température d'ébullition de l'adsorbat	Relativement faible comparée à la température d'ébullition de l'adsorbat
Individualité des molécules	Destruction de l'individualité des molécules	L'individualité des molécules est conservée
Désorption	Difficile	Facile
Cinétique	Très lente	Rapide, indépendante de la température
Chaleur d'adsorption	Supérieure à 10 Kcal/mol	Inférieure à 10 Kcal /mol
Energies mises en jeu	Elevée	Faibles
Type de formation	Formation en monocouche	Formation en multicouches et monocouche

### II.3. Les paramètres influençant d'adsorption

L'adsorption est le processus par lequel une substance (l'adsorbant) retient des molécules ou des particules d'une autre substance (l'adsorbat) à sa surface. Les facteurs qui influencent l'adsorption dépendent de l'adsorbant, de l'adsorbat et des conditions environnementales. Voici quelques exemples de facteurs qui peuvent influencer l'adsorption :

- **La surface de l'adsorbant** : La surface de l'adsorbant est un facteur clé dans l'adsorption, car elle est responsable de l'interaction entre l'adsorbant et l'adsorbat. Plus la surface de l'adsorbant est grande, plus il y a de sites d'adsorption disponibles, ce qui augmente l'adsorption.
- **La nature chimique de l'adsorbant et de l'adsorbat** : La nature chimique de l'adsorbant et de l'adsorbat est également un facteur important dans l'adsorption. Les substances ayant des interactions chimiques similaires ont tendance à s'adsorber plus facilement.
- **La température** : La température peut avoir un effet important sur l'adsorption. En général, l'adsorption diminue avec l'augmentation de la température, car les molécules adsorbées ont plus d'énergie cinétique et ont donc plus de chances de quitter la surface de l'adsorbant.
- **La pression** : La pression est également un facteur important dans l'adsorption. À pression élevée, il y a plus de molécules d'adsorbat disponibles pour l'adsorption, ce qui augmente l'adsorption.
- **Le pH** : Le pH peut également affecter l'adsorption. Par exemple, certaines surfaces d'adsorbant ont une charge électrique, et le pH peut influencer la charge électrique de ces surfaces. Les interactions électrostatiques entre l'adsorbant et l'adsorbat peuvent donc être influencées par le pH.
- **La taille des particules** : La taille des particules de l'adsorbat peut également influencer l'adsorption. Les particules plus petites ont plus de chances de s'adsorber car elles ont une plus grande surface spécifique.
- **La concentration de l'adsorbat** : Enfin, la concentration de l'adsorbat est un facteur important dans l'adsorption. En général, l'adsorption augmente avec l'augmentation de la concentration de l'adsorbat, jusqu'à un point où tous les sites d'adsorption sont occupés. Au-delà de ce point, l'adsorption ne peut plus augmenter.

#### II.4. Application de l'adsorption

L'adsorption peut être utilisée également pour des applications autres que la séparation, telles que les machines thermiques, le piégeage ou le stockage de gaz, qui sont basées uniquement sur la capacité des adsorbants à retenir des gaz et non sur l'adsorption sélective [9].

#### II.5. Isothermes d'adsorption

Tous les systèmes adsorbant/adsorbat ne se comportent pas de la même manière. Les phénomènes d'adsorption sont souvent abordés par leur comportement isotherme. Les courbes isothermes décrivent la relation existante à l'équilibre d'adsorption entre la quantité adsorbée et la concentration en soluté (Eq. I. 6) dans un solvant donné à une température constante [10].

$$Q_e = (C_0 - C_e) \times V/m \quad (I. 6)$$

Où

V: Volume de la solution ( L).

m: Masse d'adsorbant (g).

C<sub>0</sub>: Concentration initiale de soluté (mg/L).

Q<sub>e</sub> : Quantité adsorbée à l'équilibre par unité de masse du solide (mg/g),

C<sub>e</sub> : Concentration du soluté à l'équilibre (mg/L).

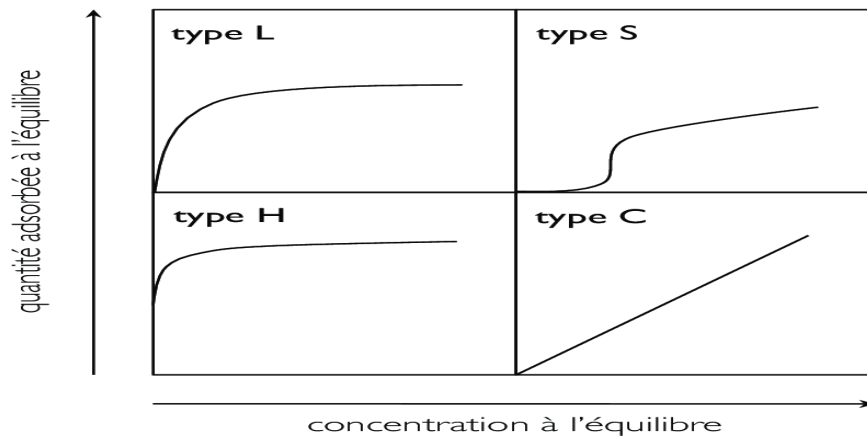
#### II.6. Classification des isothermes d'adsorption

Gilles et ses collaborateurs (1974) ont proposé les modèles d'adsorption, dont quatre types particuliers sont maintenant considérées comme les quatre formes principales d'isothermes généralement observées. Ces classes sont représentées sur la Figure II.3

Le type d'isotherme obtenu permet de tirer des conclusions qualitatives sur les interactions, entre l'adsorbat et l'adsorbant, dont les plus importantes sont les suivantes :

- la forme de l'isotherme.
- l'existence de paliers sur les isothermes.
- le type d'adsorption (mono ou polymoléculaire).

-l'orientation des molécules adsorbées.[11]



**Figure II.3 :** Classification des isothermes d'adsorption

- **Classe C**

Les courbes sont sous formes de ligne droite avec le zéro comme origine. Elle signifie que le rapport entre la concentration dans la solution aqueuse et adsorbée est le même à n'importe quelle concentration. Ce rapport est appelé coefficient de distribution  $K_d$  ( $L \text{ kg}^{-1}$ ). Elles concernent les molécules flexibles pouvant pénétrer loin dans les pores. [11].

- **Classe H**

La partie initiale de l'isotherme est presque verticale, la quantité adsorbée apparaît importante à concentration quasiment nulle du soluté dans la solution. Ce phénomène se produit lorsque les interactions entre les molécules adsorbées et la surface du solide sont très fortes. L'isotherme de classe H est aussi observée lors de l'adsorption de micelles ou de polymères formées à partir des molécules de soluté [12].

- **Classe L**

Les isothermes de classe L présentent, à faibles concentrations en solution, une concavité tournée vers le bas qui traduit une diminution des sites libres au fur et à mesure de la progression de l'adsorption. Ce phénomène se produit lorsque les forces d'attraction entre les molécules adsorbées sont faibles. Elle est souvent observée quand les molécules sont adsorbées horizontalement, ce qui minimise leur attraction latérale. Elle peut également apparaître quand les molécules sont adsorbées verticalement et lorsque la compétition entre le

solvant et le soluté pour l'occupation des sites est faible. Dans ce cas, l'adsorption des molécules isolées est assez forte pour rendre négligeable les interactions latérales [12].

- **Classe S**

Les isothermes de cette classe présentent, à faibles concentrations, une concavité tournée vers le haut. Les molécules adsorbées favorisent l'adsorption ultérieure d'autres molécules (adsorption coopérative). Ceci est dû aux molécules qui s'attirent par des forces de Van Der Waals, et se regroupent en îlots dans lesquels elles se tassent les unes contre les autres. Ce comportement est favorisé, d'une part, quand les molécules de soluté sont adsorbées verticalement comme c'est le cas des molécules possédant un seul groupe fonctionnel et d'autre part, quand les molécules se trouvent en compétition d'adsorption forte avec le solvant [12].

## II.7. Modèles d'adsorption en phase liquide

Il y a une distribution définie du soluté entre la phase fluide et solide à l'équilibre ; qui peut être modélisée. En effet, le modèle physique fournit une relation entre la concentration du soluté en solution et la quantité adsorbée par unité de masse. Il existe plusieurs modèles plus ou moins complexes dans la littérature, reposant sur plusieurs hypothèses. Parmi les modèles les plus utilisés figurent les modèles de Langmuir, Freundlich, Langmuir- Freundlich, et Redlich –Peterson [13].

### II.7.1. Modèle de Langmuir

C'est un modèle largement utilisé. Il décrit la plupart des réactions d'adsorption. Il est basé sur les hypothèses suivantes :

- Le nombre de sites d'adsorption sur la surface est limité.
- Un site ne peut adsorber qu'une seule molécule.
- La surface est recouverte au maximum par une couche.
- La réaction d'adsorption est réversible.
- La surface est énergiquement homogène.
- Il n'y a pas d'interaction entre les molécules adsorbées.

Dans le cas de l'adsorption en solution, l'équation de Langmuir a pour expression :

$$Q_{ads} = \frac{Q_m \times KL \times C_e}{1 + KL \times C_e} \quad (\text{Eq I.1.})$$

Avec :

$Q_{ads}$  : quantité adsorbée à l'équilibre (mg g<sup>-1</sup>).

$C_e$  : concentration de l'adsorbat à l'équilibre (mg L<sup>-1</sup>).

$Q_m$  : capacité d'adsorption maximale (mg g<sup>-1</sup>).

$K_L$  : constante de Langmuir liée à l'énergie de l'adsorption (L mg<sup>-1</sup>).

La linéarisation de l'équation du modèle de Langmuir donne :

$$\frac{C_e}{Q_{abs}} = \frac{1}{Q_m \times K_L} + \frac{C_e}{Q_m} \quad (\text{Eq I.2.})$$

L'équation obtenue est celle d'une droite de pente  $\frac{1}{Q_m}$  et d'ordonnée à l'origine  $\frac{1}{Q_m \times K_L}$  ; ce qui permet de déterminer les paramètres d'équilibre  $Q_m$  et  $K_L$ .

### II.7.2. Modèle de Freundlich [14]

Freundlich représente une adsorption non-idéale sur des surfaces hétérogènes ainsi qu'une adsorption multicouche. Sa formule empirique est

$$Q_m = K_F \times C_e^{\frac{1}{n}} \quad (\text{Eq I.3.})$$

Avec :

$Q_{ads}$  : quantité adsorbée à l'équilibre (mg g<sup>-1</sup>).

$C_e$  : concentration de l'adsorbat à l'équilibre (mg L<sup>-1</sup>).

$K_F$  : (mg<sup>1-1/n</sup> L<sup>1/n</sup> g<sup>-1</sup>) et  $n$  : constantes de Freundlich.

Cette formule est exploitée sous sa forme linéaire :

$$\ln Q_{abs} = \ln K_F + \frac{1}{n} \times \ln C_e \quad (\text{Eq I.4.})$$

Il s'agit de l'équation d'une droite de pente  $\frac{1}{n}$  et d'ordonnée à l'origine  $\ln K_F$ . L'équation de Freundlich a été utilisée avec succès pour ajuster les données expérimentales pour de nombreux systèmes liquide-solide, mais l'un des principaux inconvénients de cette équation, est qu'elle ne tend pas vers une valeur limite lorsque la concentration d'équilibre augmente. Ainsi le modèle de Langmuir-Freundlich apparaît comme solution pour résoudre ce problème [15].

## II.8. Charbon actif

Les charbons actifs sont des produits carbonés microporeux inerte, ils ont des caractéristiques.

qui leur permettent d'être des adsorbants importants, leur surface spécifique varié de 400 à 2000 m<sup>2</sup>/g, ils sont non spécifiques c'est-à-dire qu'ils sont capables d'adsorbé une grande diverse substance, ils ont aussi une taille des pores dans l'échelle de 1 à 4 nm, et une porosité interne de 0.4 à 0.8[16].

Les matériaux premiers qu'ils sont introduits dans la fabrication des charbons actifs sont d'origine organique, végétale ou minérale tels que : le bois, la tourbe, la noix de coco, les noyaux de dattes..., les résidus d'agriculture sont utilisés comme précurseurs pour la préparation de charbons actifs.

La fabrication des charbons actifs passe par deux étapes fondamentales : la carbonisation et l'activation, qui permettent d'obtenir un charbon actif de bonnes caractéristiques. Toutes les propriétés de produit finale dépendent de la nature de matière première, ainsi les conditions de carbonisation, et aussi le temps et le type d'activation [17].

## II.9. Préparation des charbons actifs

### II.9.1 Matières premières

La fabrication du charbon actif passe nécessairement par l'identification et le choix de la matière première. Les matières premières peuvent être obtenues à partir d'un grand nombre de matériaux contenant le carbone d'origine végétale ou minérale.

#### ➤ Origine végétale :

Il existe une multitude de produits d'origine végétale qui peuvent intervenir dans la synthèse des charbons actifs et sous différentes formes variées :

- Déchets agricoles non utilisables exemple : Noyaux de fruit, coque de noix de coco [18], bagasse de canne à sucre [19], coques d'arachide [20].
- Paille et enveloppes de céréales exemple : blé et riz [21].
- Arbre sous forme de copeaux ou de sciure de bois exemple : Bouleau, chêne, Eucalyptus [22], lignite [23].

Dans le cadre de notre étude, la matière utilisée est les tiges de dattes.

➤ **Origine animale**

Les charbons actifs sont essentiellement obtenus. Partir d'ossements d'animaux, mais aussi. Partir de leur sang voir de leur chair.

➤ **Origine minérale**

Les charbons actifs sont obtenus en grandes majorité à partir de matériaux combustibles comme le charbon minéral (houille, coke) ou la tourbe.

### **II.9.2. La Pyrolyse**

La pyrolyse ou la carbonisation est un craquage thermique sans produits oxydants. Sous l'action de la chaleur. La pyrolyse conventionnelle (ou lente), généralement réalisée à des vitesses températures comprises entre 277 et 677°C avec des vitesses de chauffages comprises entre 0,1 et 1°C/s. La pyrolyse rapide (ou flash), généralement réalisée à des températures comprises entre 777 et 977°C avec des vitesses de chauffages supérieures à 727°C/s. Cette pyrolyse est utilisée pour la production d'huile de pyrolyse La pyrolyse est une étape nécessaire pour transformer la matière en carbone. Le charbon issu de la matière organique d'origine végétale est très caractéristique : c'est une matière fibreuse qui présente une infinité de pores (quelques Angströms) obstrués par la matière organique. Pour être transformée en charbon activé, la matière organique d'origine végétale doit être débarrassée de tous ces pores. Pour cela, on chauffe à de très haute température entre 400 et 1000°C. La matière organique est détruite et on obtient un squelette carboné qui lui possède des propriétés particulières [25].

### **II.9.3 L'Activation**

Deux procédés d'activation peuvent être rencontrés pour la fabrication des charbons actifs. Il s'agit de l'activation physique ou de l'activation chimique.

✓ **Activation physique :**

Au cours de ce procédé la matière carbonisée est activée à des températures de l'ordre de 850 à 1100 °C dans des fours rotatifs ou des fours à cuve, sous atmosphère oxydante. Les gaz oxydants généralement utilisés sont le dioxyde de carbone, le dioxygène, la vapeur d'eau ou le mélange de ces deux.

**✓ Activation chimique**

L'activation chimique est une activation en phase liquide : le matériau traité préalablement est imprégné dans l'agent activant puis pyrolyse sous atmosphère inerte. Les agents utilisés sont :  $\text{H}_3\text{PO}_4$  [26,27],  $\text{ZnCl}_2$  [28],  $\text{KOH}$  [29,30],  $\text{H}_2\text{SO}_4$  etc.

La carbonisation et l'activation proprement dite sont réunies en une seule étape. Elle ne nécessite qu'un seul traitement thermique. Des températures comprises entre 400 et 800°C, valeurs inférieures aux températures usuelles d'activation physique. L'agent activant, le taux d'imprégnation, la température et la durée de l'activation sont les principaux paramètres de l'activation chimique ; ils conditionnent les propriétés des charbons obtenus en termes de volume poreux, de répartition de taille de pore et de composition chimique de la surface.

Le contrôle de tous ces paramètres et la détermination de leur impact respectif sur les propriétés finales du produit activé ne sont pas aisés ; les caractéristiques chimiques et texturales des charbons activés chimiquement sont en réalité difficilement prévisibles.

L'acide phosphorique, le chlorure de zinc et l'acide sulfurique [31] comptent parmi les agents d'activation chimiques les plus utilisés.

Le choix de l'agent activant est bien souvent dicté par la nature des matériaux précurseurs (pour un précurseur donné certains agents activant sont mieux adaptés) et par les propriétés requises par le produit final.

## Références Bibliographiques

- [1] H, Djeghiour ; Etude d'adsorption des colorants sur la bentonite et la bentonite modifiée, Mémoire de master, Université de Skikda 2017.
- [2] Dae Jung K, namgoo K, wang gs, seoung h.k. isothermal adsorption equilibrium and dynamics of binary mixture gasoline constituents on honeycomb monoliths. Chemical eng. Journal 137,244\_250 (2008).
- [3] Sedira N. Etude de l'adsorption des métaux lourds sur charbon actif issu de noyaux de dattes, Mémoire de Magister, Université Mohamed Chérif Massaadia Souk-Ahras, 2012/2013.
- [4] Bouaziz A. Bio sorption du nickel par la biomasse *Pleurotumulilus*, Ecole Nationale polytechnique, juin, 2009.
- [5] Kanouri R. Labide A. Adsorption du phénol sur la bentonite de Maghnia, Mémoire master Académique, Université KasdiMerbah- ouargla, 2012/2013.
- [6] Chitoure S.E. (1981). Chimie des surfaces introduction à la catalyse ; 2eme édition, chimie physique des phénomènes de surface.
- [7] Huchon R. (2006). Activité photo catalytique de catalyseurs déposés sur différents supports (médiats) approbation à la conception d'un photo réacteurs pilote. Thèse de doctorat ; Université Claude Bernard \_ Lyon.
- [8] POIRIER Éric, étude de l'adsorption d'hydrogène sur des nanostructures de charbon, thèse de doctorat, Université du Québec à trois – Rivières, Physique, 2000, Décembre 2000.
- [9] <https://www.google.com/search?Q=domaine+d%27adsorption&client=firefox-b&sxsrf=apwxedehmbhwzhqgrnuelpaawkqz1iwjag%3A1683731649816&ei=wbrzwny2jkduph9fwas&ved=gws-wiz-serp> consulter le (25-05-2023).
- [10] M. Belmouden, contribution à l'étude de l'adsorption de deux familles de polluants Organiques sur charbons actifs et sols. Thèse de doctorat, Université agadir, 2000.

- [11] M. Nassima LAID, étude comparative de la photodégradation d'un colorant cationique et d'un colorant anionique en phase homogène et hétérogène : modélisation des cinétiques à l'aide des plans d'expériences, Thèse de doctorat, UNIVERSITE MENTOURI-CONSTANTINE, 2017.
- [12] A. Dabrowski, P. Podkoscielny, Z. Hubicki, M. Barczak, adsorption of phenolic compounds by activated carbon : a cortical review. *Chemosphere* 58 (2005) 1049-1058.
- [13] BOUGAITA.I, Essais de dépollution des eaux contaminées par un composé organique par l'utilisation de nouveaux biosorbants, Thèse, Université -Skikda, 2018.
- [14] Guedidi.A, Préparation et modification de carbones activés pour l'adsorption de polluants organiques émergents, thèse, l'Université de Grenoble Alpes, 2015.
- [15] C. Yao, Extended and improved Langmuir équation for correlating adsorption equilibrium data, *Sep Purif Technol*, 19 (2000) 237-242.
- [16] F. benamroui, Elimination des colorants cationiques par des charbons actifs synthétisés à partir des résidus de l'agriculture. Mémoire de Magister. Université FERHAT ABBAS SETIF. P10 -12-13 (2014).
- [17] Mr. N. Rouahna ; Mr. D. Brani ; Mr. N. Lami ; (réparation de charbon actif à base de Résidus agricoleet leur application à l'élimination des colorants) ; MASTER ACADEMIQUE ; Université Echahid Hamma Lakhdar.
- [18] GIRGIS, B. S., YUNIS, S. S. et SOLIMAN, A. M., 2002a. Characteristics of activated carbon from peanuts hulls in relation to conditions of préparation. In : *Materials Lettres*. 2002. Vol. 57, n° 1, pp. 164–172.
- [19] SATONAKA, S., ISOBE, T. et KAYAMA, T., 1984. Préparation of Activated Carbon with Phosphorique Acid from Waste Liquors, Waste Sludges and Waste from Deinking. In : *RESEARCH BULLETINS OF THE COLLEGE EXPERIMENT FORESTS HOKKAIDO UNIVERSITY*. 1984. Vol. 41, n° 2, pp. 551–561.
- [20] ARJMAND, C., KAGHAZCHI, T., LATIFI, S. M. et SOLEIMANI, M., 2006a. Chemical production of activated carbon from nutshells and date stones. In : *Chemical engineering & technologie*. 2006. Vol. 29, n° 8, pp. 986–991.
- [21] ÁLVAREZ CENTENO, T., STOECKLI, F. et OTHERS, 2006. Method of producing activated carbons from apple pulp for use as electrodes in electric double-layer capacitors

(EDLC). In : 2006. [50] SATONAKA, S., T. ISOBE, and T. KAYAMA, Preparation of activated carbon with phosphoric acid from waste liquors, waste sludges and waste from deinking Research Bulletins of the college Experiments Forests... 2, 2000. 41 : p. 551-560.

[22] ÁLVAREZ CENTENO, T., STOECKLI, F. et OTHERS, 2006. Method of producing activated carbons from apple pulp for use as electrodes in electric double-layer capacitors (EDLC). In : 2006.

[23] KRIZ, W., ELGER, M., MUNDEL, P. et LEMLEY, K. V., 1995. Structure-stabilizing forces in the glomerular tuft. In : Journal of the American Society of Nephrology. 1995. Vol. 5, n° 10, pp. 1731–1739.

[24] Frank Thierry KAFACK, juin 2012, Etude des performances des charbons actifs préparé a partir de Biomasses tropicales pour l'élimination du chrome et diuron en milieu aqueux.

[25] SATONAKA, S., T. ISOBE, and T. KAYAMA, Preparation of activated carbon with phosphoric acid from waste liquors, waste sludges and waste from deinking Research Bulletins of the college Experiments Forests... 2, 2000. 41 : p. 551-560.

[26] Diao, Y., W.P. Walawender, and L.T. Fan, Activated carbons prepared from phosphoric acid activation of grain sorghum. Bioresour Technol, 2002. 81(1): p. 45-52.

[27] Onal, Y., et al., Textural development of sugar beet bagasse activated with ZnCl<sub>2</sub>. JHazard Mater, 2007. 142(1-2): p. 138-43.

[28] TSENG, R.L. and S.K. Tsng, Pore structure performance of the KOH-activated carbons prepared from corncob. 428-437, 15 july 2005. 287(2).

[29] Lua, A.C. and T. Yang, Effect of activation temperature on the textural and chemical properties of potassium hydroxide activated carbon prepared from pistachio-nut shell. J Colloid Interface Sci, 2004. 274(2): p. 594-601.

[30] Valix, M., W.H. Cheung, and G. McKay, Preparation of activated carbon using low Temperature carbonisation and physical activation of high ash raw bagasse for acid dye adsorption. Chemosphere, 2004. 56(5) : p. 493-501.

[31] KARAGÖZ, S., TAY, T., UCAR, S. et ERDEM, M., 2008. Activated carbons from waste biomass by sulfuric acid activation and their use on methylene blue adsorption. In: Bioresource technology. 2008. Vol. 99, n° 14, pp. 6214–6222.

# *Chapitre III*

### III.1. Introduction

Après avoir montré l'intérêt du charbon actif (CA) dans le domaine de la dépollution de l'eau. On Résume quelques travaux scientifiques sur la dépollution des eaux pour éliminer des colorants par des adsorbants issues à partir des déchets végétaux (biomasse).

### III.2. Résumé de quelques travaux scientifiques

**Tessaoui marwa [1]** : a étudié l'élimination de colorants cationiques vert de malachite (VM) sur du charbon préparé dans laboratoire à base de noyaux d'amande L'adsorbant a été préalablement caractérisé, sous forme de poudre. Elle insiste sur les paramètres (temps d'équilibrage, dose, pH et température et cinétique) qui affectent l'adsorption. Les isothermes d'adsorption des systèmes adsorbant/adsorbât étudiés sont décrites de manière satisfaisante par le modèle mathématique de Langmuir et Freundlich et Témoin. Le modèle de Langmuir est le meilleur pour décrire les isothermes expérimentales. Pour déterminer les paramètres cinétiques d'adsorption, plusieurs modèles cinétiques (modèles de diffusion pseudo-premier et pseudo-deuxième ordre et intra particulaire) ont été testés. D'autre part, l'étude thermodynamique a révélé que l'adsorption est spontanée et endothermique.

**Mahmoud TRACHI ; Nassima BOUFFIS ; Salem BENAMAR ; Hassina GOUGAM [2]** : se sont basé dans leur étude sur la préparation d'un CA par voie chimique à partir des coquilles d'amande ; puis d'investiguer sa capacité d'adsorption sur le bleu de méthylène (BM), cette propriété étant déterminante dans la dépollution de divers effluents industriels.

**Abdelhakim Boutalb et Abdelfettah Saker [3]** : ont utilisés dans les procédés de protection de l'environnement a fait que leur prix coûte de plus en plus cher ce qui suscite une recherche complémentaire pour la fabrication de nouveaux matériaux adsorbant moins coûteux à partir de la biomasse. L'objectif de leurs études étaient de chercher des matériaux de remplacement pour l'adsorption des colorants textiles le travail vise la valorisation d'un résidu naturel et son application dans l'élimination par adsorption de Bleu de Méthylène (BM) contenus dans l'eau. Ce déchet naturel expérimenté est les pétioles de palmier dattier ' kernaif ' qui rentrent dans la gamme de produits lignocellulosiques abondants. L'étude de l'élimination de bleu de méthylène sur les adsorbants préparés a été effectuée en fonction de plusieurs paramètres tels que : le pH, la concentration et le temps de contacte et l'analyse des résultats a été effectuées selon plusieurs modèles d'adsorption. Le matériau préparé présente une capacité d'adsorption

du bleu de méthylène. Le potentiel du pétiole de palmier dattier traitée par  $H_2SO_4$ , les résultats sont prometteurs afin de choisir l'adsorbant le plus efficace et convenable pour la dépollution des eaux.

**Attouti Salima [4]** : s'est basé dans leur étude sur deux algues marines (l'algue verte *Ulve lactuca* et l'algue brune *Cystoseira stricta*.) ont été valorisées et utilisées pour éliminer deux colorants cationiques, en l'occurrence le vert de Malachite et la Safranine O. Ces algues ont été traitées chimiquement par l'acide chlorhydrique 0,1N, le chlorure de calcium 0,2mol/L à température ambiante et par l'acide phosphorique 20% massique suivi d'une pyrolyse à 600°C.

Les matériaux ont été caractérisés pour leur chimie de surface par spectroscopie Infrarouge et par mesures du point de charge nulle (pH), leur structure poreuse a été réalisée par la détermination de l'indice d'iode, l'indice de bleu de méthylène et la méthode BET, L'application des modèles de Langmuir, de Freundlich ont permis de décrire correctement les isothermes d'adsorption. Leur étude a montré que les adsorbants à base d'algues sont capables d'adsorber efficacement ces colorants avec des capacités différentes selon l'activation. L'étude de la cinétique a montré que l'adsorption des colorants sur les adsorbants préparés est régie par une cinétique du deuxième ordre. Les algues brune et verte peuvent être valorisées par traitement chimique en vue de leur utilisation dans le traitement des eaux polluées, notamment les eaux de rejets industriels, contribuant ainsi à la protection de l'environnement.

**Belhamissi Souheyla [5]** : a étudié l'élimination des colorants, bleu de méthylène et l'orange II par un charbon actif préparé à partir d'un déchet naturel. L'étude cinétique de l'élimination des deux colorants a montré que l'adsorption sur le charbon est un processus rapide pour les deux colorants, puisque on obtient un temps d'équilibre avoisinant de 10 min. les cinétiques d'élimination du bleu de méthylène et de l'orange II s'accordent mieux avec le modèle du pseudo second ordre avec des coefficients de corrélation  $R^2$  proches de l'unité.

. L'étude des isothermes présente une allure de type II et les résultats de la modélisation sont en bonne adéquation du modèle de Langmuir par rapport à celui de Freundlich. L'examen des résultats de l'étude des isothermes fait ressortir que la quantité maximale adsorbée est de 111.111 mg/g pour le bleu de méthylène et de 54.054 mg/g pour l'orange II. Cette différence est dû au fait, la surface du charbon actif est négative au pH de l'étude, donc il élimine mieux les colorant cationique (bleu de méthylène) que les colorant anionique (orange II). L'étude de

la régénération de notre charbon actif a montré des quantités d'élimination de 100,998 mg/g pour le 1er cycle et 78,055 mg/g pour le 2ème cycle.

**O. Baghriche ; K. Djebbar ; T. Sehili [6] :** ont parlé dans leurs recherches sur les applications principales du charbon activé et l'investigation sur l'adsorption du vert de méthyle. Les études adaptées en « méthodes batch » ont permis de déterminer le temps de contact (90 minutes par 80 % de rendement d'élimination et pour une concentration de 30 ppm en substrat). Cependant ce temps de contact peut varier avec la concentration en colorant. L'influence de paramètres comme : la température, l'agitation et la concentration initiale en substrat, ont permis de constater une amélioration sensible de la capacité et de la vitesse d'adsorption du vert de méthyle sur ce support. Par ailleurs, l'adsorption de ce composé est bien décrite par les modèles cinétiques de Langmuir et Freundlich.

**Ala Abdessamad ; Lynda Frèreche [7] :** ont fait l'étude pour modéliser l'adsorption d'un colorant cationique à partir de solutions aqueuses sur un charbon actif commercial. Les effets des paramètres opératoires sur l'adsorption du vert malachite sur le charbon actif ont été étudiés et discutés. L'augmentation de la concentration initiale du vert malachite entraîne un accroissement de la capacité d'adsorption. L'enlèvement du vert malachite augmente avec l'augmentation de la dose d'adsorbant. Par contre, la quantité adsorbée par unité de masse de charbon diminue quand la dose d'adsorbant augmente. La force ionique influe négativement sur l'adsorption. L'effet de la vitesse d'agitation semble négligeable pour des vitesses supérieures à 400 tr/min. Les modèles de pseudo-premier ordre et de pseudo-deuxième ordre sont utilisés pour analyser les données cinétiques obtenues à différentes concentrations en polluant. Les cinétiques d'adsorption sont adéquatement décrites par l'équation de pseudo-second ordre. Les isothermes d'adsorption sont du type S, ce qui indique qu'il y a une sorption verticale de molécules monofonctionnelles polaires, sur un sorbant polaire et dans un solvant polaire. Les isothermes de sorption du vert malachite à différentes températures ont été établies et modélisées par les équations de Langmuir et Freundlich. Ils ont montré que le modèle de Freundlich donne un meilleur ajustement des données expérimentales par rapport à celui de Langmuir.

## Références Bibliographiques

- [1] TESSAOUI MARWA ; élimination d'un colorant basique par charbon actif préparé ; mémoire de fin d'études de MASTER université Abdel Hamid Ben Badis – Mostaganem ; 2021–2022.
- [2] Mahmoud Trachi, Nassima Bourfis, Salem Benamara, Hassina Gougam ; Préparation et caractérisation d'un charbon actif à partir de la coquille d'amande (*Prunus amygdalus*) amère ; Université M'hamed Bougara de Boumerdès ; septembre 2014
- [3] Abdelhakim Boutalb Abdelfettah Saker ; Préparation de charbon actif à base de Résidus agricole et leur application à l'élimination des colorants ; university of Eloued ; 2018
- [4] ATTOUTI, Salima ; Activation de deux algues méditerranéennes par diverses méthodes pour l'élimination de colorants ; Abdelhamid Ibnbadis ; 2013-10-29
- [5] BELHAMISSI, Souheyla ; Elimination de colorants synthétiques par un charbon actif préparé à partir d'un déchet naturel ; Université Abdelhamid ben Badis de Mostaganem ; 2017
- [6] o. Baghriche ; k. Djebbar ; t. Sehili ; étude cinétique de l'adsorption d'un colorant cationique (vert de méthyle) sur du charbon actif en milieu aqueux ; Sciences & Technologie A – N°27 Volume-B, Juin. (2008), pp. 57-62 ; Reçu le 06/02/2008 – Accepté le 15/06/2008
- [7] Djebabra Badis ; Lamri nour el islem ; benousmane Ali ; Elimination Du Colorant Rose Bengale En Solution Aqueuse Par Adsorption Sur Un Charbon Actif ; Université Oum El Bouaghi ; 2021.

# *Chapitre IV*

### IV.1. Introduction

La partie expérimentale de ce travail a été réalisée dans les laboratoires des établissements suivants : département de génie des procédés de l'Université 20 Aout 1955 Skikda, laboratoire de Topping RA2K Sonatrach de Skikda.

### IV.2. Préparation du charbon actif à partir des déchets végétaux

La préparation du charbon actif a été réalisé en deux étapes essentielles ils sont :

#### ○ Etape 1 : Traitements préliminaires

Les déchets végétaux un mélange de 50% de CN (coquille de noix) et 50% de CA (Coquille d'amande) sont lavés avec l'eau distillée, puis séchés dans une étuve à une température de 100°C pendant 12 heures, Les coquilles obtenus sont imprégnés dans une solution d'acide chlorhydrique HCL mélangée avec l'eau distillée en proportions (1+1,5). Après imprégnation les matériaux sont lavés à l'eau distillée jusqu'à pH neutre, puis séchés à la température ambiante, et enfin un séchage à l'étuve pendant 24 heures. La taille des coquilles obtenues est entre 0,5 et 4 mm

#### ○ Etape 2 : Pyrolyse et activation chimique

Les coquilles sont pyrolysés dans un four ou' la température de 800 C° pendant 2 heures puis nous conservons le matériau pyrolysé dans un dessiccateur pour éviter l'humidité, après le matériau pyrolysé obtenue étai imprégner dans d'une solution d'HCl de 30% pour obtenir un charbon activé chimiquement : CA\_HCl ; le même procédé de l'imprégnation du matériau pyrolysé dans une solution H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> de 30% pour obtenir un deuxième matériau CA\_H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>.



**Figure IV.1** : Conditions et matériel de préparation de charbon actif

**IV.3. Etablissement de la courbe l'étalonnage du vert de malachite (VM)**

Pour établir une courbe d'étalonnage du vert de malachite, il faut préparer différentes concentrations de vert de malachite à partir d'une solution mère de concentration 100 ppm. La solution mère a été convenablement diluée par l'eau distillée aux concentrations (5 ; 10 ; 15 ; 20 ; 25 ; 30 ppm). Pour obtenir les concentrations des solutions préparées, nous avons utilisé l'équation de la dilution suivante :

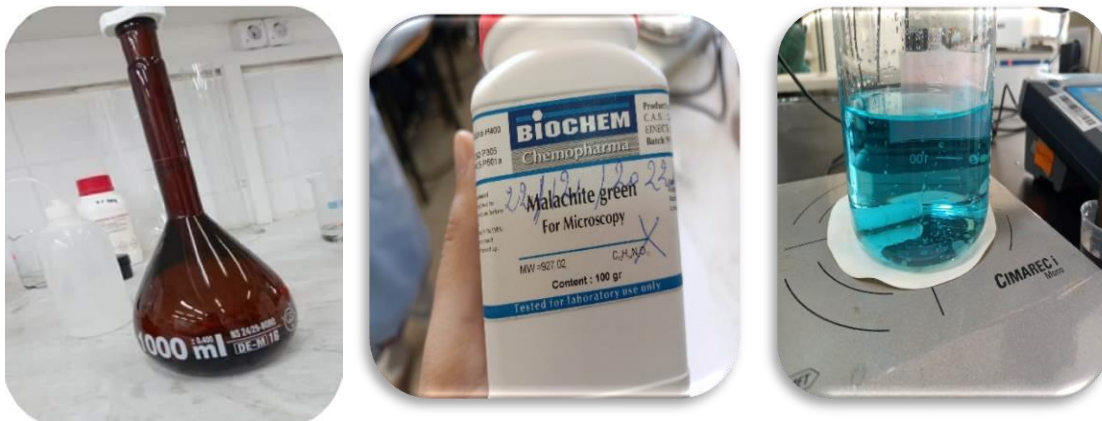
$$C_1 V_1 = C_2 V_2 \quad (1)$$

$C_1$  : Concentration de la solution mère (mg/l).

$V_1$  : Volume de la solution mère à prélever (l).

$C_2$  : Concentration de la solution fille (mg/l).

$V_2$  : Volume de la solution mère fille (l).

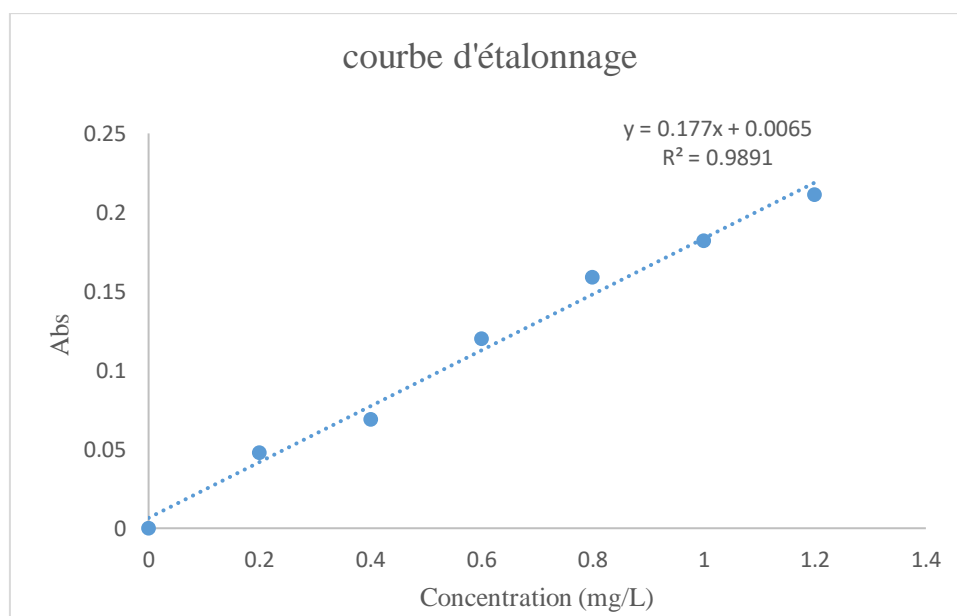


**Figure IV.2** : Préparation des solutions en vert de malachite.

- ✚ Une courbe d'étalonnage des absorbances en fonction des concentrations en vert de malachite a été obtenue en employant les solutions vertes de malachite de concentrations comprises entre 5 et 30 (ppm). Les données expérimentales rapportées dans la figure (IV.3) indiquent une relation linéaire :  $Abs=0,177C+0,0065$ . Entre l'absorbance et la concentration avec un coefficient de corrélation  $R^2= 0,9891$ . Les concentrations à l'équilibre de vert de malachite (VM) ont été déterminées par spectrophotométrie à 617 nm.

**Tableau IV.1** : Etalonnage pour la détermination de la concentration en vert de malachite.

C(ppm)	0	0,2	0,4	0,6	0,8	1	1,2
Abs	0	0,048	0,069	0,12	0,159	0,182	0,221

**Figure IV.3** : Courbe d'étalonnage de vert de malachite dans une solution aqueuse.

#### IV.4. Détermination de la quantité d'adsorption

La quantité adsorbée ( $Q_e$ ) en vert de malachite par une masse de CA\_HCl et CA\_H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> a été calculés par l'utilisation de l'équation (2).

$$Q_e = \frac{(C_0 - C_e) \cdot V}{m} \quad (2)$$

- ✚  $Q_e$  : est la quantité de polluant adsorbée par unité de masse d'adsorbant (mg. g<sup>-1</sup>).
- ✚  $C_e$  : est la concentration de l'espèce qui s'adsorbe à l'équilibre (mg. L<sup>-1</sup>).
- ✚  $m$  : est la masse de l'adsorbant (g).
- ✚  $C_0$  : est la concentration initiale (mg. L<sup>-1</sup>).
- ✚  $V$  : est le volume de solution (L).

**IV.5. Détermination de rendement d'adsorption**

Le taux d'élimination de colorant vert de malachite avec les matériaux : CA\_HCl et CA\_H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> a été calculé par l'utilisation de l'équation (3).

$$R\% = \frac{(C_0 - C_e)}{C_0} * 100 \quad (3)$$

✚ C<sub>0</sub> : est la concentration initiale (mg. L<sup>-1</sup>).

✚ C<sub>e</sub> : est la concentration de l'espèce qui s'adsorbe à l'équilibre (mg. L<sup>-1</sup>).

✚ R% : le rendement d'adsorption.

**IV.6. Effet de quelques paramètres sur l'adsorption du vert de malachite****IV.6.1. Effet de la masse d'adsorbants**

L'influence de la masse de l'adsorbant utilisé, nécessaire pour adsorber un polluant donné, est une étape essentielle dans toute étude sur l'adsorption.

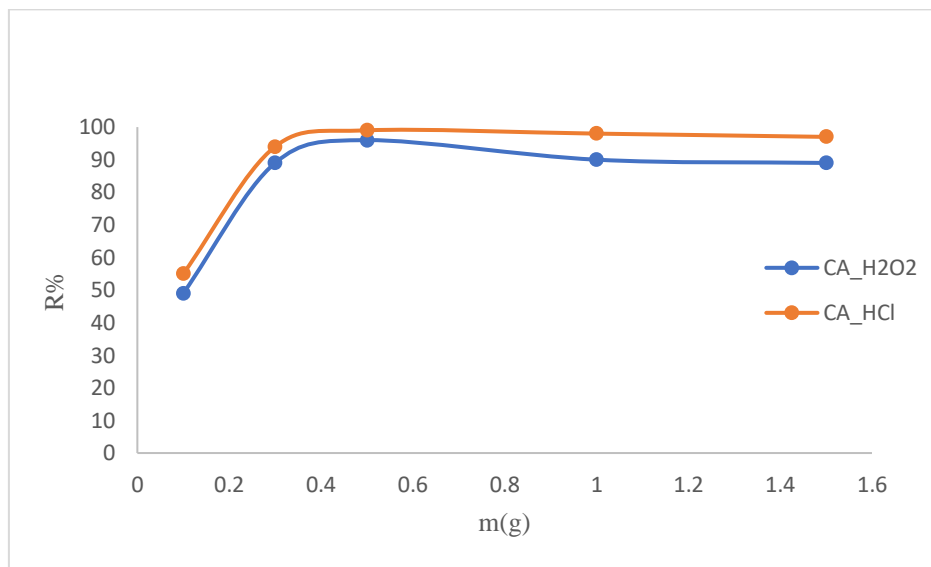
**IV.6.1. 1. Mode opératoire**

L'étude de l'influence de la masse des solides adsorbants : CA\_HCl et CA\_H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> pour l'adsorption du vert de malachite était réalisé comme suit :

- On utilisé différentes masse des charbons (0,1 ; 0,3 ; 0,5 ; 1 ; 1,5 g), dans un volume de 250 ml de solution verte de malachite avec concentration initial de 5ppm. Le taux d'élimination d'adsorption est calculé par l'équation (3).

**Tableau IV.2 :** L'effet de variation de la masse des adsorbants sur l'adsorption de vert de malachite.

m(g)	0,1	0,3	0,5	1	1,5
R%					
CA_HCl	55	94	99	98	97
R%					
CA_H <sub>2</sub> O <sub>2</sub>	49	89	96	90	89



**Figure IV.4** : L'effet de masse des adsorbants sur l'élimination de vert de malachite.

#### IV.6.1.2. Résultats obtenus

On observe d'après la Figure (IV.4) que la masse optimale du CA\_HCl ; CA\_H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> retenue m=0,5g lorsque la valeur de R% plus élevé.

#### IV.6.2. Effet du pH

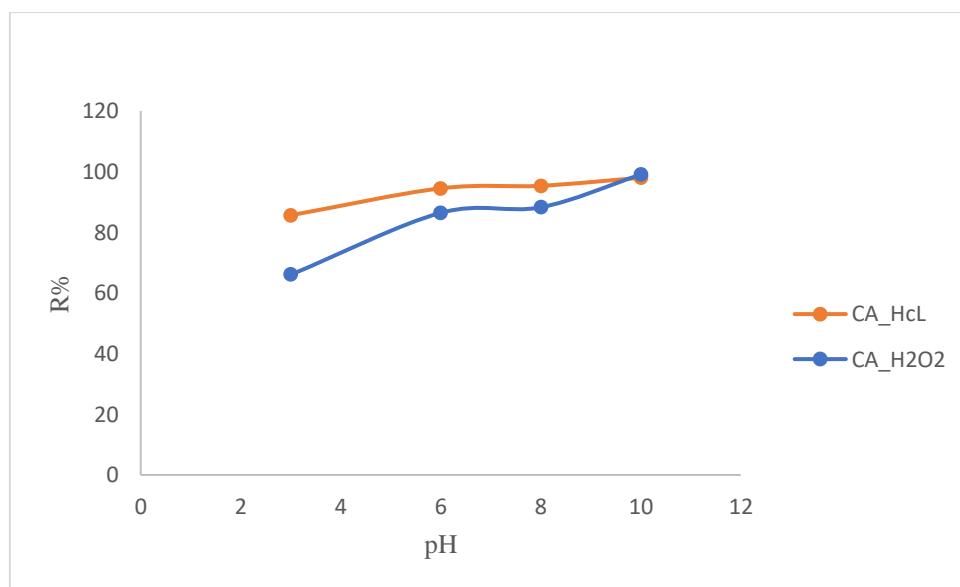
Le pH est un facteur important dans toute étude d'adsorption, du fait qu'il peut influencer à la fois sur la structure d'adsorbant et d'adsorbat ainsi que le mécanisme d'adsorption [1].

##### IV.6.2.1. Mode opératoire

Nous avons réalisé des essais d'adsorption d'une solution de vert de malachite d'une concentration initiale de (5 ppm) en présence d'une masse égale 0,5 g des adsorbants : CA\_HCl et CA\_H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> dans un volume de 250ml, le pH est ajusté successivement à (3 ; 6 ; 8 ; 10), en utilise quelque goutte des solutions de NaOH (0,1M) et H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>(0,2 M) et mesuré avec le pH mètre DR 2800. Le rendement d'élimination du vert de malachite est calculé par l'équation (3).

**Tableau IV.3:** Optimisation de pH sur l'adsorption du vert de malachite sur CA\_HCl et CA\_H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>

Ph	3	6	8	10
R% CA_HCl	85,6382979	86,419214	88,2550336	99,0353698
R% CA_H <sub>2</sub> O <sub>2</sub>	85,6382979	94,5054945	95,3488372	97,993311

**Figure IV.5:** L'effet de pH sur l'adsorption du vert de malachite en solution aqueuse

#### IV.6.2.2. Résultats obtenus

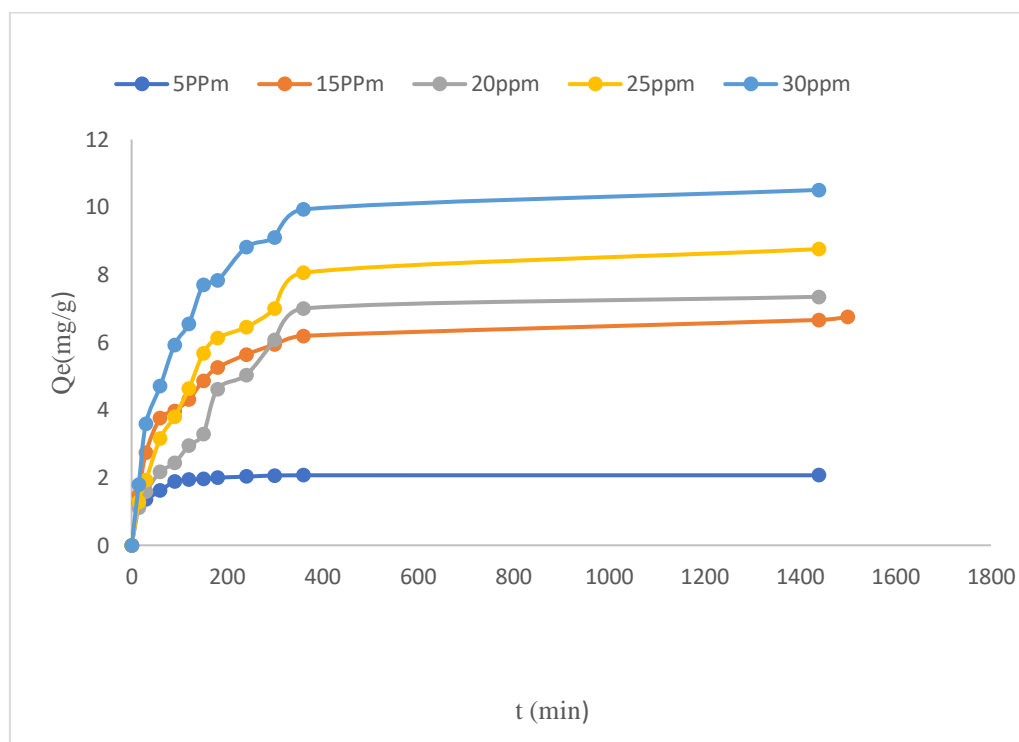
A partir de la Figure IV.5, on remarque que le taux d'élimination du vert de malachite adsorbée dans le milieu basique est important par rapport au milieu acide, à pH=10 ; et car le vert de malachite a un caractère cationique de pH=5,64(pH initial de la préparation) ; cette adsorption est caractérisée par une interaction entre la surface de l'adsorbant et le soluté.

### IV.7. Etude de l'adsorption du vert de malachite

#### IV.7.1. Influence des différentes concentrations du vert de malachite par l'adsorption sur CA\_HCl

**IV.7.1.1. Mode opératoire**

L'adsorption a été réalisée sur une masse égale 0,5g de CA\_HCl avec des solutions à différentes concentrations en vert de malachite (5 ; 15 ; 20 ; 25 ; 30 ppm) préparées dans un volume de 250 ml et pH de solution égale 10 avec une agitation et température ambiante.



**Figure IV.6** : Effet des différentes concentrations de la solution en vert de malachite sur la capacité d'adsorption de CA\_HCl

**Tableaux IV.4** : Effet de la concentration de la solution en vert de malachite sur la capacité d'adsorption de CA\_HCl.

[C0] de vert de malachite	Temps (min)	Capacité maximal d'adsorption (mg/g)
5	360	2,07
15	1440	6,75
20	1440	7,775
25	1440	8,79
30	1440	10,51

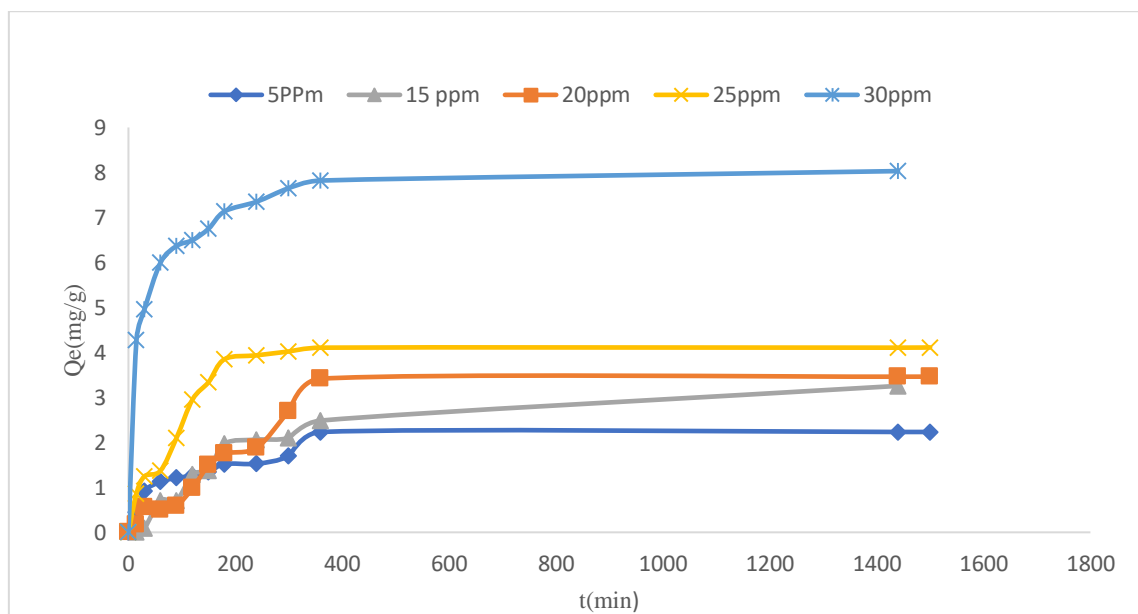
### IV.7.1.2. Résultats obtenus

D'après la figure (IV.6) les données montrent que la capacité de l'adsorption du vert de malachite augmente avec l'augmentation des concentrations initiales de la solution en colorant, après 400 min la capacité de l'adsorption du colorant (VM) est constante n'a aucun effet sur la concentration résiduelle de vert de la malachite dans la solution ceci explique que l'équilibre est atteint.

### IV.7.2. Influence de la concentration du vert de malachite sur la capacité d'adsorption du CA\_H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>

#### IV.7.2.1. Mode opératoire

Les essais sont réalisés par différentes concentrations initiales en colorant (VM) de (5 ; 15 ; 20 ; 25 ; 30 ppm) dans un volume 250 ml avec une agitation, pH =10 et avec une masse 0,5 g de CA\_H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>. Les résultats montrent dans le tableau (IV.5) et la figure (IV.8)



**Figure IV.7:** Effet des différentes concentrations de la solution en vert de malachite sur la capacité d'adsorption de CA\_H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>.

**Tableaux IV.5** : Effet de la concentration de la solution en vert de malachite sur la capacité d'adsorption de CA\_H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>.

[C0] de vert de malachite (mg/l)	Temps	Capacité maximal d'adsorption (mg/g)
5	360	2,231
15	1440	3,46
20	1440	4,10
25	1440	4,41
30	1440	8,03

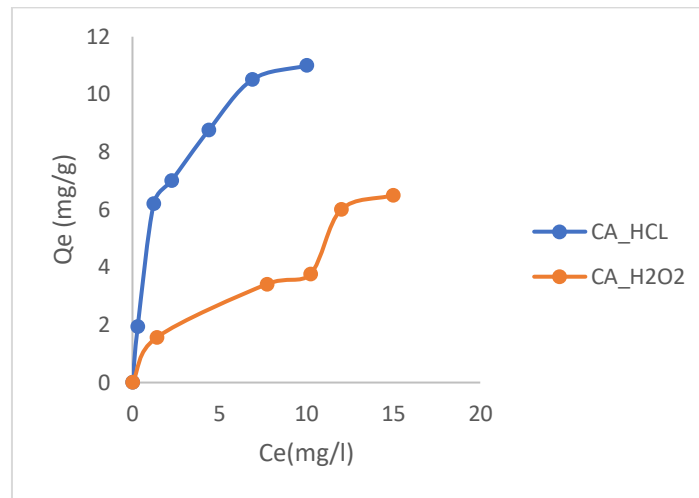
**IV.7.2.2. Résultat obtures**

A partir de figure IV.7 et le tableau IV.5 on observe l'augmentation de la capacité d'adsorption avec l'augmentation des différentes concentrations initiales de colorant (VM) dans un temps d'équilibre de 360 min.

- ❖ D'après les deux figures précédentes, on remarque que la capacité d'adsorption maximal de l'adsorbant CA\_HCl est  $Q_e = 12,05$  mg/l dans 1440 min et  $Q_e = 8,03$  mg/l pour CA\_H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> dans 1440min)

**IV.8. Isothermes de l'adsorption du vert de malachite sur CA\_HCl et CA\_H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>**

L'isotherme d'adsorption décrit la relation entre la concentration de soluté adsorbé à la surface d'un adsorbant et la concentration de soluté restant dans la solution à une température donnée [1]. Cette relation peut être exprimée graphiquement sous forme d'une courbe appelée isotherme. Dans cette étude, l'effet de la concentration initiale du vert de malachite à pH=10 sur la quantité adsorbée (mg/g) par le CA\_HCl et par CA\_H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> a été étudié dans une gamme de concentrations initiales, variant de (5-15-20-25-30 mg/l), pour les deux cas. Les isothermes d'adsorptions sur les deux adsorbants sont représentées sur la Figure IV.9

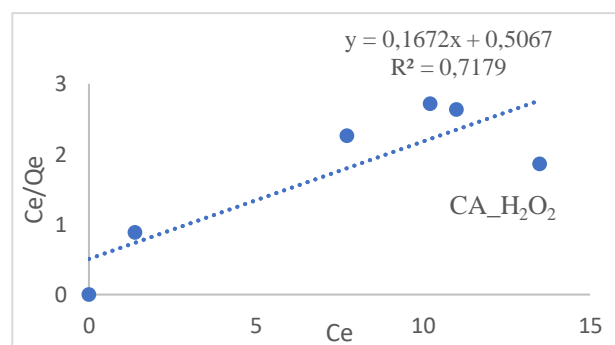
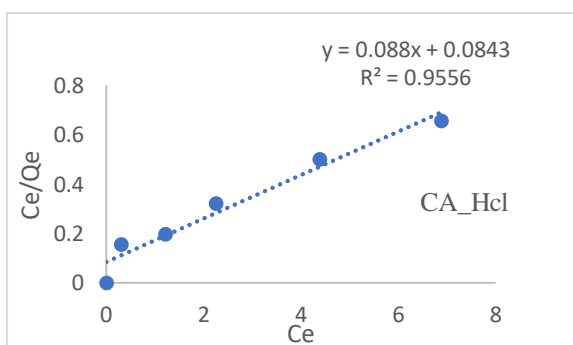


**Figure IV.8:** Représentation graphique des isothermes d'adsorption du vert de malachite sur Le CA\_HCL et sur CA\_H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>

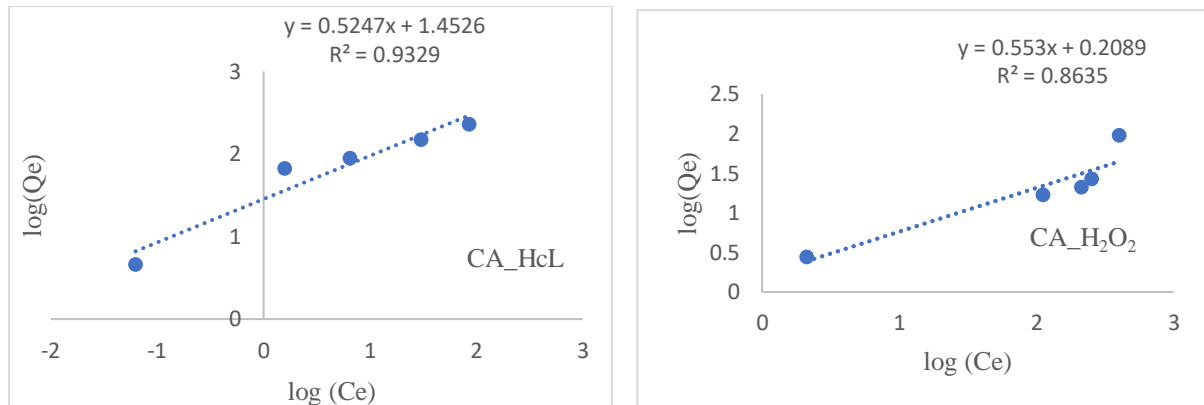
D'après la Figure IV.8, on remarque que l'affinité du CA\_HCL, CA\_H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> est acceptable pour élimination du (VM) .

#### IV.8.1. Modélisation des isothermes d'adsorption

Deux modèles d'isotherme fondamentaux ont été exploités pour cette étude, notamment l'isotherme de Langmuir et celui de Freundlich, le modèle le mieux applicable aux résultats d'adsorption, sera évaluer à partir du coefficient de détermination  $R^2$  ( $0 < R^2 < 1$ ) et de la comparaison des valeurs de la quantité d'adsorption maximum [1]. Le tableau IV.6 et les figures IV.9 ; IV.10 ci-dessous retrace des paramètres des isothermes (Langmuir et Freundlich)



**Figure IV.9 :** Application du modèle de Langmuir pour l'adsorption du vert de malachite sur CA\_HCl et sur CA\_H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>.



**Figure IV.10:** Application du modèle de Freundlich pour l'adsorption du vert de malachite sur CA\_HCl et sur CA\_H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>.

**Tableau IV.6 :** Résultats de la modélisation de l'adsorption du vert de malachite en solution aqueuse sur le CA\_HCl et CA\_H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>, par les modèles de Langmuir et Freundlich.

Paramètres des modèles	CA_HCl	CA_H <sub>2</sub> O <sub>2</sub>
Langmuir		
Qm (mg/g)	10,44	5,980
KL (l/mg)	0,230	0,118
R	0,982	0,847
Freundlich		
KF (mg/g)	5,909	1,232
n	3,685	1,808
R	0,998	0,929

#### IV.8.1.1. Résultats obtenus

A partir des résultats de modélisation des isothermes présentés dans le tableau IV.6, d'adsorption de vert de malachite sur CA\_HCl et CA\_H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> avec un coefficient de corrélation R= 0,982 et 0,847 respectivement dans le cas du model de Langmuir et R=0,998 et 0,927 respectivement dans le cas de le model Freundlich, donc le model de Freundlich est le

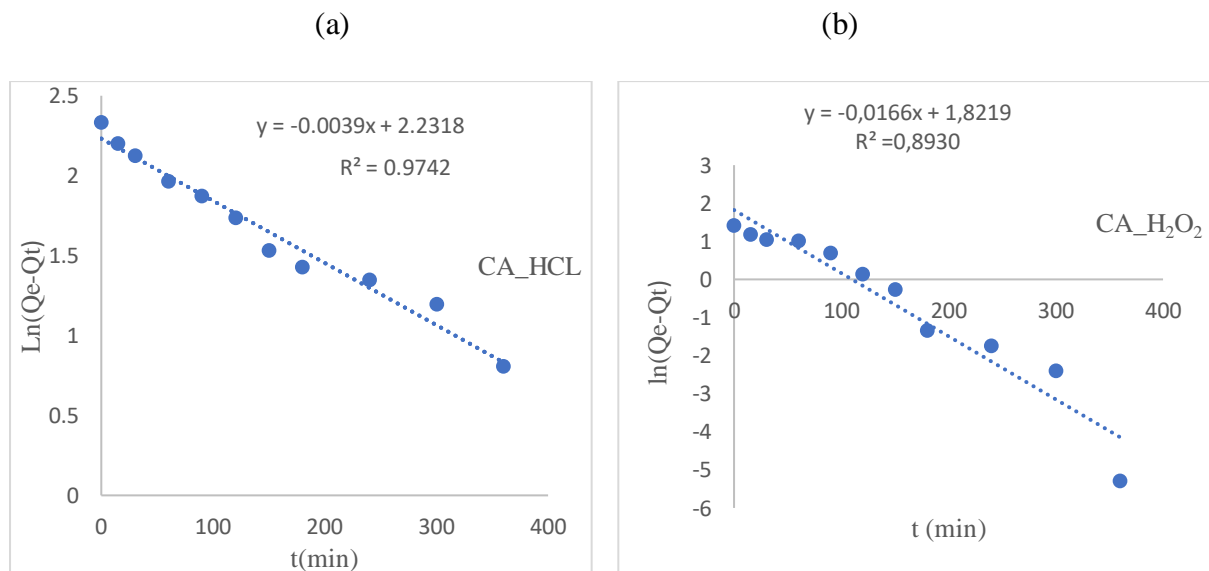
meilleur modèle pour définir l'adsorption du vert de malachite dans cette étude et décrit le mieux de nos résultats expérimentaux.

Avec  $Q_m = 10,44$  mg/g et  $R^2 = 0,9556$  pour CA\_HCl et  $Q_m = 5,980$  mg/g et  $R^2 = 0,7179$  pour CA\_H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> à partir de l'isotherme de Langmuir.

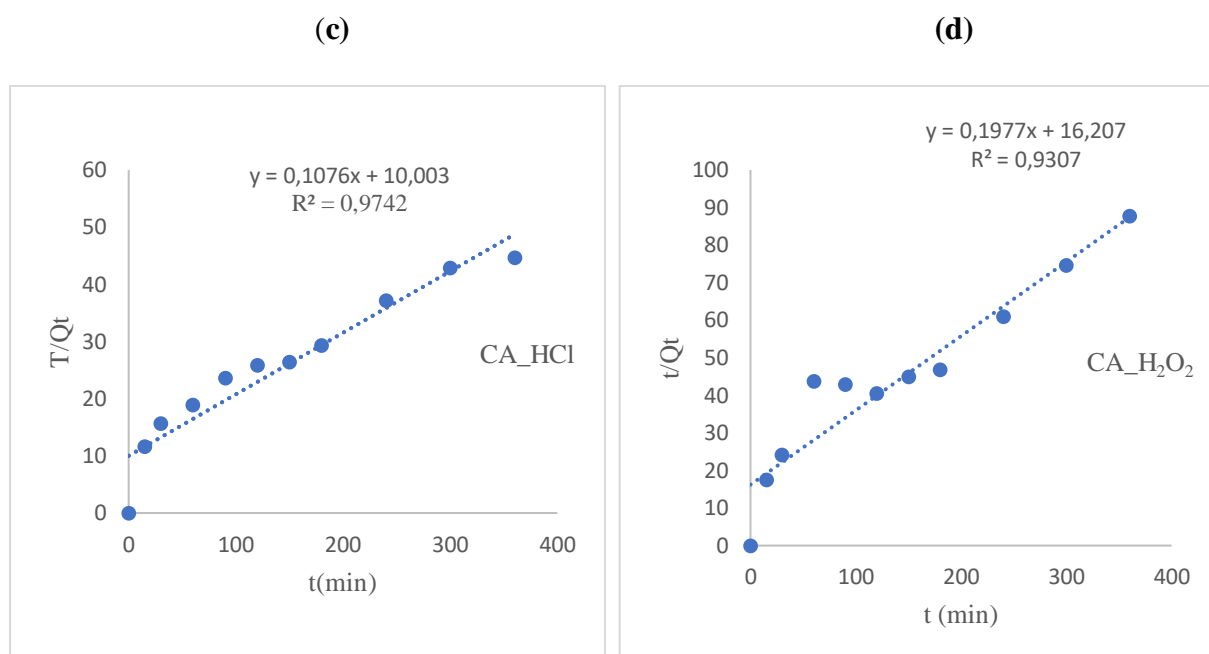
Dans le cas de l'adsorption du vert de malachite sur CA\_HCl et CA\_H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>. Le modèle de Freundlich montre que le surface de nos échantillons sont hétérogènes sur le plan énergétique et que l'adsorption est multicouche [1]. Les valeurs  $n$  du modèle de Freundlich sont supérieures à l'unité  $n = 3,685$  pour CA\_HCl ;  $n = 1,808$  pour CA\_H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>, ceci montre que l'adsorption est favorable [2] et physique [3].

#### IV.9. Modélisation des cinétiques d'adsorption

Plusieurs modèles cinétiques ont été utilisés afin d'interpréter les données expérimentales, qui donnent des informations essentielles pour l'utilisation de ces matériaux adsorbants dans le domaine de l'adsorption. Dans cette étude, deux modèles ont été utilisés pour décrire la cinétique d'adsorption du CA\_HCl et CA\_H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>, en raison de leur simplicité et leur capacité à décrire la cinétique d'adsorption des polluants organiques. Ces modèles sont le modèle de pseudo premier-ordre (PPO), et le modèle de pseudo- second-ordre (PSO) [1].



**Figure IV.11** : Représentation graphique de la modélisation de la cinétique d'adsorption sur CA\_HCl (a) et CA\_H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> (b) ; par le modèle de pseudo premier ordre.



**Figure IV.12:** Représentation graphique de la modélisation de la cinétique d'adsorption sur CA\_HCl (c) et CA\_H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> (d) par le modèle de pseudo second ordre.

**Tableau IV.7 :** Résultats des modèles cinétiques de l'adsorption de vert de malachite sur le CA\_HCL et CA\_H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>.

Modèles	Paramètre	CA_HCl	CA_H <sub>2</sub> O <sub>2</sub>
Pseudo- premier ordre) PPO	K <sub>1</sub>	0,11488944	0,03293265
	Q <sub>e</sub>	25,6410256	6,02409639
	R	0,95587656	0,9477869
Pseudo- second-ordre) PSO	K <sub>2</sub>	0,9290893	0,31209779
	Q <sub>e</sub>	9,2936803	5,05816894
	R	0,9870157	0,96472794

---

---

**IV.9.1. Résultat obtenu**

Le meilleur modèle établi pour l'étude de la cinétique d'adsorption est choisi selon le facteur de corrélation R. Plus ce facteur est élevé plus le modèle est favorable pour l'étude du processus d'adsorption.

A partir des résultats du tableau IV.7, nous remarquons que le modèle qui présente un facteur de détermination le plus élevé est celui du modèle de pseudo second ordre (PSO) avec un facteur  $R^2 = 0,9742$  dans le cas du CA\_HCl, et  $R^2 = 0,9307$  dans le cas du CA\_H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>. On peut déduire donc que le modèle de pseudo-second-ordre est celui qui décrit le mieux le processus d'adsorption de vert de malachite sur les deux matériaux CA\_HCl et CA\_H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>.

Nous voyons aussi que les quantités adsorbées calculées par ce modèle sont plus proches des quantités adsorbées expérimentalement dans le cas de CA\_HCl et CA\_H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>.

## Références Bibliographiques

- [1] D. BOUGAITA, Essais de dépollution des eaux contaminées par un composé organique par l'utilisation de nouveaux biosorbants, Thèse, Université -Skikda, 2017/2018.
- [2] S. Dawood, T. K. Sen. Removal of anionic dye congo red from aqueous solution by raw pine and acid- treated pine cone powder as adsorbent : Equilibrium, thermodynamic, kinetics, mechanism and process design. *Water Research* 46 (2012) 1933-1946.
- [3] A. L. Cazetta, A. M. M. Vargas, E. M. Nogami, M. H. Kunita, M.R. Guilherme, A. C. Martins, T.L. Silva, J. C. G. Moraes, V. C. Almeida. NaOH-activated carbon of high surface area produced from coconut shell : Kinetics and equilibrium studies from the methylene blue adsorption. *Chem. Eng. J.* 174 (2011) 117-125.

## Conclusion générale

Le but de cette étude consiste en la préparation de charbon actif à partir de déchets agricole et la modification de la surface du charbon actif préparé pour la dépollution des eaux contaminées par un colorant vert de malachite.

Le charbon actif utilisé est issu à partir des résidus de l'agriculture (CA) (CN) par la pyrolyse et activation chimique à 800 °C pendant 2h Ce procédé permet de préparer des CA de bonne qualité avec une structure poreuse très développée et de grandes surfaces spécifiques [1].

La modification de surface d'un charbon actif issus de la Coquille d'amande et coquille de noix préparé par voie chimique avec l'imprégnation du CA dans un solution HCl 1 de 30% et H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> de 30% et l'influence de certaines paramètres opération (pH de solution, la masse de l'adsorbant, concentration initiale de vert de malachite sur la capacité d'élimination de vert de malachite sur les matériaux (CA\_HCl ; CA\_H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>) ont été étudié en utilisation une technique d'adsorption.

Les isothermes d'adsorption du vert de malachite sont simulées plus correctement par le modèle de Freundlich, avec des valeurs de n sont supérieur de 1 : n=3,685 dans le cas de CA\_HCl et n=1,808 dans le cas de CA\_H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> ces valeurs indiquent que l'adsorption est favorable et physique donc l'adsorption du vert de malachite est peut réversible lors de l'utilisation de CA\_ et CA\_ comme adsorbants et une désorption de nos matériaux en in de réaction et possible. D'après le model de Langmuir la capacité d'adsorption maximal

$$Q_m = 10,51 \text{ mg/g pour CA\_HCl et } Q_m = 8,03 \text{ mg/g pour CA\_H}_2\text{O}_2$$

Le modèle de pseudo second ordre est le modèle établi dans cette étude pour l'adsorption.

De colorant vert de malachite sur CA\_HCl et CA\_H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> avec un coefficient de corrélation R=0,955 et R=0,947 respectivement.

Comme perspective, Il serait intéressant de reprendre cette étude en examinant le comportement les deux matériaux (CA\_HCl et CA\_H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>) pour des essais d'adsorption d'un autre polluant organique ou des métaux lourds.

## Résumé

Cette étude porte sur l'application d'un adsorbant charbon actif préparé à base de CA et de CN à pourcentage de 50%, avec une activation chimique pour obtenir des matériaux suivant : CA\_H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> , CA\_HCl dans le domaine de traitement des eaux ; notre travail intéresse de l'investigation des matériaux préparés pour l'adsorption d'un colorant Vert de Malachite (VM), et l'effet de plusieurs paramètres tel que le temps de contact, la concentration initiale en (VM) , le pH de la solution, la masse des adsorbants ont été étudié. Une modélisation des isothermes d'adsorption a été effectuée à l'aide des modèles d'isothermes de Langmuir, Freundlich et leurs coefficients de corrélation obtenus, indiquent que le model de Freundlich est favorable pour les adsorbants : CA\_HCl, CA\_H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>. La modélisation de la cinétique d'adsorption obéit au modèle de pseudo second ordre.

**Mot clés :** Adsorption, charbon actif, colorant, vert de malachite (VM), CA\_H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>, CA\_HCl

## Abstract

This study relates to the application of an activated carbon adsorbent prepared on the basis of CA and CN at a percentage of 50%, with chemical activation to obtain the following materials: CA\_H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>, CA\_HCl in the field of water treatment; our work concerns the investigation of the materials prepared for the adsorption of a Malachite Green dye (VM) , and the effect of several parameters such as the contact time, the initial concentration of (VM), the pH of the solution, the mass of the adsorbents were studied. A modeling of the adsorption isotherms has been carried out using the Langmuir and Freundlich isotherms models and their correlation coefficients obtained indicate that the Freundlich model is favorable for the adsorbents : CA\_HCl, CA\_H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>. The modeling of the adsorption kinetics obeys the pseudo-second-order model.

**Keywords :** Adsorption, activated carbon, dye, malachite green (VM), CA\_H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>, CA\_HCl

## ملخص

تتعلق هذه الدراسة بتطبيق مادة ماصة للكربون المنشط محضرة على أساس قشور الجوز واللوز بنسبة 50٪، مع التنشيط الكيميائي للحصول على المواد التالية كـ كربون منشط مفعّل بواسطة حمض الكلور وكربون منشط بواسطة الماء الأوكسجين في مجال معالجة المياه؛ يتعلّق عملنا بالتحقيق في المواد المعدة لامتصاص صبغة الملكيث الخضراء وتأثير العديد من المعلمات مثل وقت التلامس، والتركيز الأولي لصبغة الملكيث، ودرجة الحموضة في المحلول، وكتلة الممتزازات. تم تنفيذ نمذجة متساوي الحرارة باستخدام لونقمير فريندليش ومعاملات الارتباط التي تم الحصول عليها تشير الى نموذج فريندليش هو النموذج المناسب للممتزازات وتخضع هذه الأخيرة الى نمذجة حركية الامتزاز لنموذج الدرجة الثانية.

**الكلمات الرئيسية:** الامتزاز؛ الكربون المنشط؛ صبغ؛ الملكيث الأخضر

