

**REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE**  
**MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR**  
**ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE**  
**UNIVERSITE DE CONSTANTINE 3**



**FACULTE DES GENIES DES PROCÉDES**  
**DEPARTEMENT DE GENIE CHIMIQUE**

N° d'ordre:...

Série :... ..

**Mémoire de Master**

Filière : génie des procédés

Spécialité : génie chimique

**Etude de l'Effet de la Magnétisation sur les  
Pouvoirs Adsorbants d'un Charbon Actif  
Conventionnel**

Encadré par :

**Mr. BOUSBA Salim**

Présenté par :

**REKAB Nesrine**

**BOUKERB Youcef**

**GHODBANE Amina**

Année universitaire : 2023/2024

Session : Juin



**MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR  
ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE  
UNIVERSITE DE CONSTANTINE 3**



**FACULTE DES GENIES DES PROCEDES  
DEPARTEMENT DE GENIE CHIMIQUE**

N° d'ordre:...

Série :.... ..

**Mémoire de Master**

Filière : génie des procédés

Spécialité : génie chimique

**Etude de l'Effet de la Magnétisation sur les  
Pouvoirs Adsorbants d'un Charbon Actif  
Conventionnel**

Encadré par :

**Mr. BOUSBA Salim**

Présenté par :

**REKAB Nesrine**

**BOUKERB Youcef**

**GHODBANE Amina**

Année universitaire : 2023/2024

Session : Juin

## **REMERCIEMENTS**

*En préambule à ce mémoire, nous remercions **ALLAH** qui nous a aidés et nous a donné la patience, le courage et la volonté de mener à bien notre travail.*

*Loué soit Dieu, par la grâce de qui toutes les bonnes choses sont accomplies. En concluant notre travail, nous tenons à exprimer nos sincères remerciements et notre profonde gratitude.*

*Nous voulons tout d'abord adresser nos sincères remerciements à notre encadrant de ce mémoire, **Mr BOUSBA Salim...**, pour sa patience, sa disponibilité et surtout ses judicieux conseils, qui ont contribué à alimenter notre réflexion.*

*Nous adressons nos profonds remerciements à **Mlle RIAH Amel** pour l'aide qu'elle nous a offerte durant notre projet de fin d'études, ainsi que pour sa gentillesse, sa patience et sa disponibilité, qui nous ont permis de mener à bien ce travail.*

*Le travail présenté dans ce manuscrit a été réalisé au sein du **Laboratoire ReMeDD**. C'est pourquoi nous tenons à remercier toutes les personnes qui nous ont créé un milieu de travail parfait et ont mis à notre disposition tous les outils et matériels dont nous avons besoin pour accomplir notre travail.*

*Nous exprimons nos vifs remerciements aux membres du jury qui vont juger notre travail. Nous tenons à remercier **M. Merouani** et toute l'équipe du laboratoire pour l'aide qu'ils nous ont toujours apportée.*

*Enfin, un grand merci à nos familles respectives et à nos amis qui nous ont aidés. Nous profitons de l'occasion pour remercier tous ceux qui ont collaboré de près ou de loin à la réalisation de ce projet.*

***Merci à tous et à toutes.***

## *Dédicaces*

*Merci ALLAH de m'avoir donné la capacité d'écrire et de réfléchir, la force d'y croire, la patience d'aller jusqu'au bout du rêve et le bonheur.*

*À ma mère, source de mes efforts. Tu représentes pour moi le symbole de la bonté par excellence, et un exemple de fidélité qui n'a jamais cessé de m'encourager et de prier pour moi. Tes prières et tes bénédictions ont été d'une grande aide dans mes études.*

*A l'homme de ma vie, mon exemple éternel, mon soutien moral, celui qui s'est toujours sacrifié pour me voir réussir, la lumière de mon chemin, à toi mon père. Aucune dédicace ne saurait être assez éloquente pour exprimer ce que vous méritez et exprimer l'amour, Ce travail est le fruit de vos sacrifices que vous avez consentis pour mon éducation et ma formation.*

*Je tiens également à remercier tous ceux qui m'ont aimée, et en particulier à mes chers frères "Abd EL Halim" et "Rabeh".*

*À tous ceux qui m'ont donné un coup de main, à ceux qui m'ont encouragé à continuer et à persévérer.*

*Enfin, Je remercie également toutes les personnes dont les paroles, les écrits, les conseils et les critiques ont guidé ma réflexion, et qui ont accepté de me rencontrer et de répondre à mes questions durant mes recherches, notamment Dr. Amel et Dr. D...*

**Nesrine**



## *Dédicaces*

*Je dédie ce mémoire à toutes les personnes qui ont été une source de soutien et d'inspiration tout au long de ce parcours académique. À Dieu tout puissant, pour sa guidance et ses bénédictions infinies. Que ta lumière continue à éclairer mon chemin.*

*À ma chère mère Malika, dont l'amour et les prières incessantes m'ont toujours porté. Ton soutien inébranlable et ta foi en moi m'ont donné la force d'avancer. À mon père Fouzi, pour ses sages conseils et son encouragement constant. Ta patience et ton dévouement sont des modèles pour moi.*

*À ma sœur Lina et mon frère Amir, pour leur compréhension et leur soutien. Votre présence dans ma vie est un véritable trésor.*

*À mon encadrant Salim Bousba, pour son expertise, ses conseils précieux et son soutien tout au long de ce travail. Votre guidance a été essentielle pour mener à bien ce projet. À la doctorante Amel Riah, pour son aide précieuse et ses encouragements. Votre soutien et votre disponibilité ont été d'une grande aide.*

*À mes amis Abd- Fateh, Wail, Anis, Mohcen, Mohamed et Chouaib, pour les moments de camaraderie et d'encouragement. Vous avez rendu ce voyage plus agréable et moins solitaire.*

*À mes trinômes Nesrine et Amina, pour leur collaboration et leur esprit d'équipe. Ce mémoire est aussi le fruit de nos efforts communs et de notre détermination partagée.*

*À tous, je vous exprime ma profonde gratitude et mon affection. Ce mémoire est le reflet de votre amour, de votre soutien et de votre dévouement.*



*Youssef*

## *Dédicaces*

*Je tiens avant tout à remercier Dieu tout-puissant, qui m'a insufflé la volonté, la force et le dévouement nécessaires à l'accomplissement de ce modeste travail.*

*Je dédie ce travail et mes réussites à mes parents.*

*À ma chère maman, Asma Djendli, qui, dans l'ombre, me relève quand je faiblis, qui trouve toujours les mots justes pour m'encourager avec douceur, et qui suit chacun de mes pas avec fierté.*

*À mon père, Habib Ghodbane, cet être extraordinaire qui m'a constamment encouragé, soutenu et qui a toujours cru en moi.*

*À mes frères bien-aimés, Achref et Borhane.*

*À toutes les personnes, de près ou de loin, qui me reconnaissent, en particulier Akram, Nehla , Nada ,Mimi, Michou ,Abir ,Hanane .*

*À nos professeurs, pour leur soutien tout au long de ces années d'études universitaires.*

*Amina*

## Sommaire

Liste des figures

Liste des tableaux

Introduction générale.....	1
Références bibliographiques .....	4

## CHAPITRE I

### Synthese bibliographique

I.	Introduction .....	5
	I.I La pollution.....	5
	I.I.1 Définition de la pollution .....	5
	I.I.1.1 Les différents types de pollutions.....	5
	I.I.1.1.1 La pollution atmosphérique .....	5
	I.I.1.1.2 La pollution des sols .....	6
	I.I.1.1.3 La pollution des eaux .....	6
	I.I.1.2 Différents type de la pollution de l'eau .....	6
	I.I.1.1.2.1 Pollution physique .....	6
	I.I.1.1.2.2 Pollution chimique .....	6
	I.I.1.1.2.3 Pollution biologique.....	7
	I.I.1.3 Types des polluants .....	7
	I.I.1.3.1 Les polluants organiques.....	7
	I.I.1.3.2 Les polluants inorganiques .....	7
	I.I.2 Les colorants .....	8
	I.I.2.1 Historique des colorants .....	8
	I.I.2.2 Définition d'un colorant .....	8
	I.I.2.3 Sources des colorants .....	9
	I.I.2.4 Classification des colorants .....	10
	I.I.2.4.1 Classification chimique.....	10
	I.I.2.4.1 Les classifications tinctoriale.....	12



I.I.2.5 la toxicité des colorants .....	12
I.I.2.5.1 Toxicité pour la santé humaine .....	12
I.I.2.5.2 Toxicité pour les milieux aquatiques .....	13
I.I.2.6 Les applications des colorants .....	13
I.I.2.7 Les méthodes de traitement .....	13
I.I.2.8 Présentation du colorant modèle étudié.....	14
I.I.2.8.1 Définition .....	14
I.I.2.8.2 Danger et toxicité.....	16
I.I.2.8.3 Domaines d'application .....	16
I.II Phénomène d'adsorption .....	17
I.II.1 Définition d'adsorption.....	17
I.II.2 Types d'adsorption.....	17
I.II.2.1 Adsorption Physique.....	17
I.II.2.2 Adsorption Chimique .....	17
I.II.3 Mécanisme de l'adsorption.....	18
I.II.4 Les facteurs Influant sur l'Adsorption.....	19
I.II.5 Les adsorbants.....	19
I.II.5.1 Critères de sélection des adsorbants.....	20
I.II.5.2 Les types d'adsorbants .....	20
I.II.5.3 Généralités sur le charbon actif.....	20
A. Définition .....	20
B. Différentes formes de charbon actif.....	21
C. Procédés de fabrication du charbon actif.....	23
D. Propriétés du charbon actif.....	23
E. Les domaines d'utilisations du charbon actif.....	24
F. Les adsorbants magnétiques.....	25
Références bibliographiques .....	27

## CHAPITRE II

### Matériel et méthodes

II.1. Introduction .....	33
II.2 Caractéristiques physico- chimiques des produits utilisés .....	33
II.3 Matériels et appareillages .....	33
II.3.1 Matériels .....	33
II.3.2 Appareillage .....	34
II.4 Préparation des adsorbants .....	38
II.4.1 Préparation du charbon actif conventionnel CAC .....	39
II.4.2 Préparation du charbon actif magnétique CAM .....	43
II.5 Préparation des adsorbats .....	45
II.5.1 Préparation de la solution mère.....	45
II.5.2 Préparation des solutions filles .....	45
II.5.3 Détermination de $\lambda_{\max}$ .....	46
II.5.4 Traçage des courbes d'étalonnages.....	46
II.6 Caractérisation de charbon actif .....	47
II.6.1 Détermination du pH de point de charge nulle ( $\text{pH}_{\text{PZC}}$ ) des adsorbants.....	47
II.6.2 Spectroscopie Infrarouge à Transformé de Fourier (IRTF) .....	48
II.7 Étude de l'adsorption du Rhodamine B.....	48
II.7.1 Influence des conditions opératoires sur l'adsorption du RhB par les charbon actifs (CAC&CAM) .....	48
II.7.1.1 Effet du pH .....	49
II.7.1.2 Effet de la dose .....	49
II.7.1.3 Cinétique d'adsorption en fonction du temps de contact .....	50
II.7.1.4 Etude de l'effet de la température sur l'adsorption .....	50
II.7.1.5 Effet des sels (NaCl).....	51
Références bibliographiques .....	52

## CHAPITRE III

## Résultats et discussions

III.1 Introduction .....	55
III.2 Caractérisation des adsorbants .....	55
III.2.1 Confirmation de l'effet magnétique des adsorbants.....	55
III.2.2 pH de Point de Charge Zéro (pHpzc) .....	56
III.2.3 Spectroscopie Infrarouge (IRTF).....	57
III.2.3.1 Interprétation du spectre IRTF du CAC.....	57
III.2.3.2 Interprétation du spectre IRTF du CAM.....	58
III.2.3.3 Comparaison et Interprétation.....	59
III.3 Etude paramétrique .....	59
III.3.1 Effet de la dose (dose optimale) .....	59
III.3.2 Effet du pH .....	60
III.3.3 Effet du temps de contact .....	62
III.3.4 Effet de la température .....	62
III.3.5 Effet de NaCl .....	64
III.3.6 Modélisation des isothermes d'adsorption du RhB .....	65
a) Le modèle de Langmuir.....	66
b) Le Modèle de Freundlich.....	67
c) Le Modèle de Temkin.....	67
III.3.7 Etude cinétique d'adsorption .....	69
III.3.7.1 Modèle de pseudo-premier ordre « PFO ».....	69
III.3.7.2 Modèle de pseudo-second ordre « PSO » .....	70
Références Bibliographiques.....	73
Conclusion générale.....	76
Résumé.....	79

## Liste des figures

### Chapitre I

<b>Figure I.1:</b>	Schéma montrant la classification des colorants.....	12
<b>Figure I.2:</b>	Différentes techniques de traitements des eaux usées.....	14
<b>Figure I.3:</b>	La Rhodamine B: (a) Formes solide et aqueuse ; (b) structure moléculaire.....	15
<b>Figure I.4:</b>	Schématisation du phénomène d'adsorption.....	17
<b>Figure I.5:</b>	Structure du charbon actif vue sous un microscope électronique.....	21
<b>Figure I.6:</b>	Aspect des charbons actifs : (a) granulé, (b) Poudre, (c) Fibre.....	22
<b>Figure I.7:</b>	Représentation de la structure poreuse de charbon actif.....	24
<b>Figure I.8:</b>	Domaines d'utilisation des charbons actifs dans des applications en phase.....	25

### Chapitre II

<b>Figure II.1:</b>	Plaque chauffante à agitateur magnétique de la marque DIAB MS7-H-S.....	34
<b>Figure II.2:</b>	Spectrophotomètre UV-Visible de la marque SHIMADZU.....	35
<b>Figure II.3:</b>	pH-mètre de la marque HANNA.....	36
<b>Figure II.4:</b>	Balance de la marque de KERN ABJ-NM/ ABS-N.....	36
<b>Figure II.5:</b>	Etuve de la marque de Memmert.....	37
<b>Figure II.6:</b>	Four à moufle de la marque Nabertherm.....	37
<b>Figure II.7:</b>	Dessiccateur.....	38
<b>Figure II.8:</b>	Centrifugeuse de la marque ONILAB DM0412.....	38
<b>Figure II.9:</b>	Schéma représentant la préparation du biochar.....	39
<b>Figure II.10:</b>	Broyage électrique.....	40
<b>Figure II.11:</b>	Échantillon après broyage.....	40

<b>Figure II.12:</b>	Appareille de tamisage.....	40
<b>Figure II.13:</b>	Agitation de la matière première avec la solution mélangée ( $ZnCl_2$ ) .....	42
<b>Figure II.14:</b>	la carbonisation dans un four à moufle $T=600^{\circ}C$ pendant 1h.....	42
<b>Figure II.15:</b>	Filtration sous vide du charbon actif (CAC) .....	43
<b>Figure II.16:</b>	Magnétisation du charbon actif commercial par précipitation en milieu basique (NaOH).....	44
<b>Figure II.17:</b>	Filtration du charbon actif magnétique (CAM) .....	44
<b>Figure II.18:</b>	Test de fin lavage par la solution $AgNO_3$ .....	45
<b>Figure II.19:</b>	Préparation de la solution mère.....	45
<b>Figure II.20:</b>	Préparation des solutions filles.....	46
<b>Figure II.21:</b>	Spectre UV-visible du RhB, à 5 mg/L.....	46
<b>Figure II.22:</b>	Courbe d'étalonnage du Rhodamine B.....	47
<b>Figure II.23:</b>	L'effet de la température.....	51

### Chapitre III

<b>Figure III.1:</b>	L'effet magnétique du CAM.....	55
<b>Figure III.2:</b>	Effet magnétique du CAM après adsorption.....	56
<b>Figure III.3:</b>	Évolution du pH final en fonction du pH initial.....	56
<b>Figure III.4:</b>	Spectres IRTF du charbon actif conventionnel " CAC ".....	58
<b>Figure III.5:</b>	Spectres IRTF du charbon actif magnétique "CAM ".....	59
<b>Figure III.6:</b>	Capacité d'adsorption du Rh B en fonction de la dose du CA.....	60
<b>Figure III.7:</b>	Effet du pH sur l'adsorption de RhB par (CAC, CAM) .....	61
<b>Figure III.8:</b>	Effet du temps de contact sur l'élimination de RhB par le CAC et CAM.....	62
<b>Figure III.9:</b>	Effet de la température sur l'adsorption de RhB par CAC.....	63
<b>Figure III.10:</b>	Effet de la température sur l'adsorption de RhB par CAM.....	63
<b>Figure III.11:</b>	Effet de NaCl sur l'adsorption de RhB par CAC et CAM.....	64

<b>Figure III.12:</b>	Taux d'élimination du RhB en fonction du $C_{NaCl}$ .....	65
<b>Figure III.13:</b>	Isotherme de l'adsorption du Rhodamine B sur le CAC et CAM.....	66
<b>Figure III.14:</b>	Capacité d'adsorption en fonction de la concentration initiale de l'adsorbat.....	66
<b>Figure III.15:</b>	Isothermes de Langmuir pour l'adsorption du Rhodamine B.....	68
<b>Figure III.16:</b>	Isothermes de Freundlich pour l'adsorption du Rhodamine B.....	68
<b>Figure III.17:</b>	Isothermes de Temkin pour l'adsorption du Rhodamine B.....	68
<b>Figure III.18:</b>	Courbe cinétique de pseudo-premier ordre pour l'élimination du Rhodamine B par le CAC, CAM. a) CAC, b)CAM.....	70
<b>Figure III.19:</b>	Courbe de cinétique de pseudo-deuxième ordre pour l'élimination du RhB par le CAC, CAM. a) CAC, b) CAM.....	71

## Liste des tableaux

### Chapitre I

<b>Tableau I.1:</b>	Principaux groupements chromophores et auxochromes, classés par intensité croissante.....	9
<b>Tableau I.2:</b>	Classification chimique des colorants synthétiques. ....	10
<b>Tableau I.3:</b>	Propriétés physicochimiques de Rhodamine B.....	15
<b>Tableau I.4:</b>	Comparaison entre la Physisorption et la Chimisorption.....	18
<b>Tableau I.5:</b>	Les différentes étapes de l'adsorption.....	19
<b>Tableau I.6:</b>	Avantages et inconvénients des deux types de charbon actif. ....	22

### Chapitre II

<b>Tableau II.1:</b>	Les caractéristiques des produits utilisées. ....	33
<b>Tableau II.2:</b>	Données de la courbe d'étalonnage de RhB. ....	47

### Chapitre III

<b>Tableau III.1:</b>	Valeurs des paramètres des isothermes Langmuir et Freundlich pour l'élimination du RhB par le CAC et CAM. ....	69
<b>Tableau III.2:</b>	Constantes caractéristiques de la cinétique du pseudo-premier et pseudo-deuxième ordre.....	71

## Abréviation

<b>CAC</b>	Charbon actif conventionnel
<b>CAM</b>	Charbon actif magnétique
<b>CAG</b>	Charbon actif en grain
<b>CAF</b>	Charbon actif en fibre
<b>CAP</b>	Charbon actif en poudre
<b>MES</b>	Matière en suspension
<b>IRTF</b>	Infrarouge à Transformé de Fourier
<b>PFO</b>	Pseudo- first ordre
<b>pH</b>	Potentiel hydrogène
<b>pHpzc</b>	Potentiel Hydrogène de Point de Charge Zéro
<b>PSO</b>	Pseudo-second ordre
<b>RhB</b>	Rhodamine B
<b>UIPAC</b>	Union internationale de chimie pure et appliquée
<b>UV-V</b>	Ultraviolet-visible

## Nomenclature

Symbole	Désignation	Unité
<b>A</b>	Absorbance	-
<b>C</b>	La concentration des espèces absorbantes	[mg.l <sup>-1</sup> ]
<b>C<sub>0</sub></b>	La concentration initiale de l'adsorbat en solution	[mg.l <sup>-1</sup> ]
<b>C<sub>e</sub></b>	La concentration a l'équilibre de l'adsorbat en solution	[mg.l <sup>-1</sup> ]
<b>l</b>	Epaisseur de la cuve.	[cm]
<b>ε</b>	Coefficient d'extinction molaire	[l/mg cm ou l/mol cm]
<b>K<sub>f</sub></b>	Constante de l'isotherme de Freundlich	[l.mg <sup>-1</sup> ]
<b>K</b>	Constante de l'isotherme d'adsorption de Langmuir	[l.mg <sup>-1</sup> ]



## Abréviation et Nomenclature

<b>K<sub>1</sub></b>	constantes de vitesse d'adsorption pour le premier ordre	[min <sup>-1</sup> ]
<b>K<sub>2</sub></b>	Constante de vitesse d'adsorption pour le pseudo-second ordre	[g/mg. min]
<b>m</b>	La masse de l'adsorbant	[g]
<b>n</b>	2 <sup>ém</sup> constante de l'isotherme de Freundlich.	-
<b>Q<sub>e</sub></b>	La capacité d'adsorption du support à l'équilibre	[mg .g <sup>-1</sup> ]
<b>Q<sub>max</sub></b>	La capacité d'adsorption de la monocouche	[mg/g]
<b>R<sup>2</sup></b>	coefficient de corrélation	-
<b>R</b>	Le rendement	[%]
<b>r</b>	Le rapport solide/liquide	[g. L <sup>-1</sup> ]
<b>T°</b>	La température	[K]
<b>t</b>	Le temps de contact	[min]
<b>V</b>	Le volume de la solution (adsorbat)	[ml]
<b>v</b>	La vitesse d'agitation	[tr /min]

# *Introduction générale*

### Introduction générale

L'eau est essentielle à la vie : les humains, les animaux et les plantes en ont constamment besoin. Elle joue un rôle crucial dans le maintien de l'équilibre thermique de la planète. Cependant, malgré ce besoin vital, les sources d'eau restent constamment menacées par la pollution. L'une des principales causes de cette pollution est liée aux eaux usées, contaminées par des microbes et certaines bactéries nocives. Un comportement humain irresponsable contribue également à cette pollution, mettant ainsi en péril cette ressource indispensable [1].

La pollution de l'eau par divers produits chimiques issus d'activités industrielles (tels que les hydrocarbures, les phénols et les colorants) et agricoles (comme les pesticides et les engrais) représente une source majeure de dégradation environnementale. Ce problème attire actuellement une attention particulière à l'échelle internationale en raison de ses impacts significatifs sur les écosystèmes, la santé humaine et la biodiversité [2].

De nombreuses industries, telles que celles du papier, des textiles, du cuir, des cosmétiques et des plastiques, produisent des eaux usées chargées en colorants organiques [3]. Ces colorants, lorsqu'ils sont rejetés dans l'environnement sans traitement adéquat, peuvent entraîner des effets néfastes sur les organismes aquatiques et la santé humaine. Il est donc essentiel de les éliminer correctement pour préserver la santé publique et l'écosystème. La composition chimique des colorants, notamment celle des colorants azoïques, revêt une importance particulière. En effet, ces substances sont difficiles à dégrader et peuvent se transformer en produits chimiques dangereux, tels que des amines aromatiques cancérigènes. Les colorants se divisent en trois catégories selon leur composition chimique : anioniques, cationiques et non ioniques. Les colorants azoïques, en particulier, sont caractérisés par la présence de groupes azoïques, éléments clés de leur structure et de leur caractère anionique.[4,5].

Diverses méthodes sont employées pour traiter les eaux contaminées, notamment la filtration membranaire, l'oxydation chimique, l'échange d'ions, l'osmose inverse, le traitement électrochimique et l'adsorption [6]. Parmi ces techniques, l'adsorption se distingue comme la méthode la plus favorable pour l'élimination des polluants, grâce à son efficacité et à sa simplicité d'utilisation. Le principe du traitement par adsorption repose sur la capacité d'un matériau solide, appelé adsorbant, à piéger les polluants présents dans l'eau. De nombreux matériaux solides, tels que les argiles, les zéolites, les alumines activées, la boue, les biomasses et le charbon actif, sont mentionnés dans la littérature comme étant efficaces pour les procédés de dépollution des eaux[7].

Les charbons actifs, principaux adsorbants utilisés dans le traitement des eaux, offrent de nombreux avantages. Ils sont particulièrement efficaces pour éliminer une large gamme de polluants, y compris différents types de colorants et d'autres substances organiques. Grâce à leur grande surface spécifique et leur structure poreuse, les charbons actifs sont capables d'adsorber efficacement ces polluants, ce qui en fait un choix privilégié dans les procédés de dépollution des eaux.[8].

Habituellement, il est difficile de séparer rapidement les adsorbants d'un grand volume de solution. Cependant, les adsorbants magnétiques peuvent contourner ce problème en remplaçant les techniques lourdes de centrifugation, de sédimentation et de filtration par une simple séparation de phase grâce à l'application d'un champ magnétique externe à l'aide d'un aimant. Cette méthode permet une récupération rapide et efficace des adsorbants, simplifiant ainsi le processus de traitement des eaux [9,10].

L'objectif de notre travail est d'étudier l'effet de la magnétisation sur les pouvoirs adsorbants d'un charbon actif conventionnel. Pour cela, nous allons étudier la possibilité d'éliminer un colorant synthétique, la Rhodamine B, pris comme modèle de polluant organique, par adsorption sur le charbon actif conventionnel et sur le charbon actif magnétique préparé à partir de déchets de matière végétale.

Cette étude expérimentale se concentrera sur la détermination des principaux paramètres physicochimiques susceptibles d'influencer l'efficacité du procédé d'adsorption, tels que le pH initial, la température, la présence de sels et la concentration initiale du colorant. Une attention particulière sera également accordée à l'étude des isothermes d'adsorption et aux modèles cinétiques afin de mieux décrire les phénomènes en jeu et d'optimiser le processus de dépollution.

Dans ce contexte, le manuscrit détaillant l'ensemble du travail est structuré en trois chapitres, précédés d'une introduction générale et suivis d'une conclusion générale :

- **Premier chapitre** : Ce chapitre est consacré à l'étude bibliographique et est divisé en deux parties :
  - La première partie présente des généralités sur la pollution, les colorants, et les différentes méthodes de traitement.
  - La deuxième partie offre une introduction aux principes de l'adsorption.
- **Deuxième chapitre** : Ce chapitre décrit le matériel et les méthodes de caractérisation, en détaillant l'équipement, les produits utilisés, ainsi que le protocole expérimental.

- **Troisième chapitre** : Ce chapitre présente l'ensemble des résultats expérimentaux obtenus et leur interprétation.

### Références bibliographiques

- [1] S. Guergazi, D. Amimeur, et S. Achour, " Elimination des substances humiques de deux eaux de surface algériennes par adsorption sur charbon actif et sur bentonite ", LARHYSS Journal P-ISSN 1112-3680/E-ISSN 2521-9782, n° 13, 2013. Consulté le: 17 mai 2024. [En ligne]. Disponible sur: <http://larhyss.net/ojs/index.php/larhyss/article/viewFile/160/153>
- [2] L. Amirouche, " Etude du pouvoir de sorption du cuivre (II), du Zinc (II) et des polyphénols par les bentonites sous l'effet des irradiations micro-ondes ", PhD Thesis, UMMTO, 2011.
- [3] H. K. No et S. P. Meyers, " Application of Chitosan for Treatment of Wastewaters ", in Reviews of Environmental Contamination and Toxicology, vol. 163, G. W. Ware, Éd., in Reviews of Environmental Contamination and Toxicology, vol. 163. , New York, NY: Springer New York, 2000, p. 1-27. doi: 10.1007/978-1-4757-6429-1\_1.
- [4] Z. N. Garba, I. Lawan, W. Zhou, M. Zhang, L. Wang, et Z. Yuan, " Microcrystalline cellulose (MCC) based materials as emerging adsorbents for the removal of dyes and heavy metals—a review ", Science of the Total Environment, vol. 717, p. 135070, 2020.
- [5] B. O. Unal et al., " Adsorption and Fenton oxidation of azo dyes by magnetite nanoparticles deposited on a glass substrate ", Journal of Water Process Engineering, vol. 32, p. 100897, 2019.
- [6] A. Majouli, S. Tahiri, S. A. Younssi, H. Loukili, et A. Albizane, " Elaboration of new tubular ceramic membrane from local Moroccan Perlite for microfiltration process. Application to treatment of industrial wastewaters ", Ceramics International, vol. 38, n° 5, p. 4295-4303, 2012.
- [7] M. J. Ahmed et S. K. Dhedan, " Equilibrium isotherms and kinetics modeling of methylene blue adsorption on agricultural wastes-based activated carbons ", Fluid phase equilibria, vol. 317, p. 9-14, 2012.
- [8] A. Temmar, " Synthèse d'un support polypyrrole intercalé dans la bentonite. Applications a l'élimination des métaux lourds (Cr<sup>6+</sup>, Pb<sup>2+</sup>, Zn<sup>2+</sup>, Cd<sup>2+</sup>) ", PhD Thesis, Université M'Hamed Bougara: Faculté des sciences de l'ingénieur, 2016.
- [9] L. Fan, C. Luo, Z. Lv, F. Lu, et H. Qiu, " Preparation of magnetic modified chitosan and adsorption of Zn<sup>2+</sup> from aqueous solutions ", Colloids and surfaces B: Biointerfaces, vol. 88, n° 2, p. 574-581, 2011.
- [10] Y.-M. Hao, C. Man, et Z.-B. Hu, " Effective removal of Cu (II) ions from aqueous solution by amino-functionalized magnetic nanoparticles ", Journal of hazardous materials, vol. 184, n° 1-3, p. 392-399, 2010.

# *Partie théorique*

*Synthèse  
bibliographique*



## CHAPITRE I

### Synthèse bibliographique

#### I. Introduction

Ce chapitre est structuré en deux sections principales. La première section fournira un aperçu général de la pollution notamment les colorants, ainsi qu'une analyse des diverses méthodes de traitement disponibles pour remédier à ces contaminants. La seconde section sera dédiée à une présentation approfondie des principes et des mécanismes de l'adsorption, en mettant en lumière son importance et son efficacité dans le cadre des processus de dépollution.

#### I.I La pollution

La pollution de l'eau représente une menace croissante pour les écosystèmes aquatiques et la santé humaine. Elle résulte de la dégradation des ressources en eau, souvent causée par le déversement de divers polluants industriels. Parmi ces polluants, les colorants industriels, largement utilisés dans des secteurs tels que le textile, jouent un rôle prépondérant. Ces substances altèrent les caractéristiques physico-chimiques des milieux aquatiques, créant des déséquilibres écologiques et des risques sanitaires majeurs. Face à cette problématique, il devient crucial de mettre en œuvre des traitements efficaces pour les effluents contaminés, afin de préserver la qualité des eaux naturelles et protéger les populations[1].

##### I.I.1 Définition de la pollution

Le terme pollution désigne toute action qui introduit volontairement, accidentellement ou naturellement au milieu un agent externe qui peut être un sous-produit de l'action humaine, altérant les critères de répartition des flux d'énergie, des niveaux de radiation, de la constitution physico-chimique du milieu naturel et de l'abondance des espèces vivants. Ces modifications peuvent affecter l'homme directement ou à travers des ressources agricoles, en eau et en produits biologiques. Elles peuvent aussi l'affecter en altérant les objets physiques qu'il possède ou les possibilités réactives du milieu[2].

##### I.I.1.1 Les différents types de pollutions

La pollution est divisée en trois catégories :

###### I.I.1.1.1 La pollution atmosphérique

La présence de substances dans l'atmosphère et les espaces clos par l'homme peut avoir des conséquences néfastes pour la santé humaine, les ressources biologiques et les écosystèmes,

l'impact sur le changement climatique, les richesses matérielles, des nuisances olfactives excessives et d'autres conséquences néfastes[3].

#### **I.I.1.1.2 La pollution des sols**

Les effets cumulatifs à long terme de différentes activités humaines (industrielles, agricoles, urbaines et militaires) sont responsables de la pollution des sols[4].

#### **I.I.1.1.3 La pollution des eaux**

La pollution de l'eau est devenue une problématique critique à l'échelle mondiale, impactant gravement la disponibilité et la qualité de cette ressource vitale. Bien que l'eau soit indispensable à la vie humaine, son approvisionnement est continuellement menacé par des pratiques industrielles irresponsables. Les effluents d'égout, les nutriments, les métaux toxiques provenant des entreprises métallurgiques et pelleteries, ainsi que les substances chimiques utilisées en agriculture et dans les écoles, contribuent significativement à la dégradation des écosystèmes aquatiques. De plus, les sites miniers abandonnés ajoutent aux sources de contamination. Par exemple, une quantité notable d'eau utilisée par les établissements scolaires est rejetée sous forme d'eau usée, dont plus de 85 % est renvoyée à des niveaux de pollution inquiétants. Cette pollution multiple non seulement met en péril la santé publique mais compromet aussi les écosystèmes aquatiques, rendant urgentes les mesures pour protéger et gérer durablement les ressources en eau [5,6].

#### **I.I.1.2 Différents type de la pollution de l'eau**

La pollution peut être classifiée de différentes manières. En fonction du type de polluant, elle se divise en trois catégories principales : la pollution physique, la pollution chimique et la pollution biologique.

##### **I.I.1.1.2.1 Pollution physique**

On parle de ce type de pollution quand le milieu pollué est modifié dans sa structure physique par divers facteurs. Elle regroupe la pollution mécanique (effluents solides), la pollution thermique (réchauffement de l'eau par des usines) et la pollution nucléaire retombées de radioéléments issus des explosions d'armes nucléaires, résidus des usines atomiques et accidents nucléaires[1].

##### **I.I.1.1.2.2 Pollution chimique**

La pollution chimique est causée par les rejets de substances chimiques provenant principalement des activités industrielles, domestiques et agricoles. Elle se divise en deux catégories :

- **Organique** : Comprend les hydrocarbures, les colorants, les pesticides et les détergents.
- **inorganiques**: Inclut les métaux lourds, le carbone, l'azote, le phosphore, etc[7].

#### **I.I.1.1.2.3 Pollution biologique**

Il s'agit de la pollution par les micro-organismes (bactéries, virus, parasites, champignons, efflorescences planctoniques, etc.)[1].

#### **I.I.1.3 Types des polluants**

##### **I.I.1.3.1 Les polluants organiques**

Les polluants organiques sont parmi les plus nombreux et les plus dangereux, avec certaines substances étant cancérogènes ou mutagènes, ce qui rend leur élimination vitale. Ces polluants incluent **les phénols, les hydrocarbures, les colorants, les détergents, les engrais et les pesticides**, et représentent la principale source de pollution des ressources en eau.

Ces matières organiques proviennent majoritairement des effluents domestiques (déjections animales et humaines, graisses, etc.) ainsi que des effluents industriels issus de grandes activités (raffinage du pétrole, charbonnages, synthèse organique, production de produits synthétiques, fabrication de pesticides, industrie textile, industrie de la pâte à papier, etc.). Elles causent une diminution de l'oxygène dans les milieux aquatiques, avec des effets dévastateurs sur la survie de la faune [8].

Ces résidus organiques, comme la cellulose issue des papeteries, le sucre ou le lactosérum provenant des industries agroalimentaires, contribuent également à cette problématique. Contrairement aux matières en suspension (MES), ils constituent une source de nourriture privilégiée pour les micro-organismes aquatiques, favorisant leur prolifération. En conséquence, ces matières organiques épuisent l'oxygène présent dans l'eau, ce qui a des conséquences désastreuses sur la survie de la faune aquatique. Les micro-organismes, à la recherche d'oxygène, puisent dans les sulfates dissous ( $\text{SO}_4^{2-}$ ), qu'ils réduisent en sulfure. Ce processus libère du sulfure d'hydrogène, entraînant une odeur caractéristique d'œufs pourris[9].

##### **I.I.1.3.2 Les polluants inorganiques**

Il s'agit de la matière minérale, qui est dépourvue de carbone en général. Cette matière comprend les sels, toutes les substances structurées autour du silicium, ainsi que les métaux lourds, l'ammoniac, les nitrates, les phosphates et le dioxyde de carbone.

Les éléments présents sous forme de traces dans les sols solides sont mis en circulation par l'érosion, lesquels se retrouvent en solution ou en suspension. Le ruissellement sur les surfaces imperméables telles que les sols et les chaussées, ainsi que les sources anthropiques, s'ajoutent à ces sources naturelles liées à l'érosion. Les métaux lourds sont généralement présents dans l'environnement sous forme de traces, notamment le mercure, le plomb, le cuivre, l'arsenic, le nickel, le zinc, le cobalt et le manganèse. Parmi eux, les plus toxiques sont le plomb, le cadmium et le mercure. De nombreuses activités industrielles telles que l'électronique, les traitements de surface et l'industrie chimique utilisent ces métaux, ce qui peut entraîner des rejets dans l'environnement.

En général, les unités industrielles sont implantées à proximité des cours d'eau pour faciliter le transport des matières premières, l'approvisionnement en eau pour le refroidissement des installations, ainsi que pour l'évacuation des effluents industriels. Historiquement, l'eau a souvent été utilisée comme décharge pour ces déchets, sans se conformer aux normes environnementales[10].

## **I.1.2 Les colorants**

### **I.1.2.1 Historique des colorants**

Depuis les débuts de l'humanité, l'application des colorants a joué un rôle crucial dans tous les aspects de notre vie quotidienne, que ce soit pour teindre le tissu, le papier, le cuir, les vêtements... etc. Leur origine est naturelle, qu'il s'agisse de substances d'origine animale ou végétale, ainsi que des extraits minéraux (ocre et hématite). Cependant, l'utilisation des colorants synthétiques s'est progressivement développée au cours du XIXe siècle. Le développement de l'industrie des colorants est étroitement lié à la découverte de la mauvéine (ou aniline), le premier colorant synthétique, par Henry William Perkin en 1856, suivi du fuchsine par Verguin en 1858[11], de l'auréine en 1859, de la crésoléine en 1876, du phénosafranine en 1883, etc. Au début du XXe siècle, la production industrielle de colorants synthétiques avait largement dépassé celle des colorants naturels, atteignant environ 700 000 tonne/an[12].

### **I.1.2.2 Définition d'un colorant**

Un colorant est défini comme un produit capable de teindre une substance de manière durable. Il contient des groupes, appelés chromophores, qui lui confèrent sa couleur, et des groupes, appelés auxochromes, qui permettent sa fixation. Les matières colorantes se caractérisent par leur capacité à absorber la lumière dans le spectre visible (de 380 à 750 nm).

La transformation de la lumière blanche en lumière colorée, par réflexion, transmission ou diffusion, résulte de l'absorption sélective d'énergie par certains groupes d'atomes appelés chromophores. La molécule colorante est un chromogène. Plus le groupe chromophore donne facilement un électron, plus l'intensité de la couleur est prononcée [13].

**Tableau I.1:** Principaux groupements chromophores et auxochromes, classés par intensité croissante [14].

Groupement chromophores	Groupement 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.1.2.3 Sources des colorants

- **Les colorants naturels**

Peuvent être classés en trois groupes selon leur source : les colorants végétaux, animaux et minéraux.

**a) Colorants végétaux :**

Les colorants végétaux utilisés dans la teinture revêtent une importance considérable, étant principalement extraits de plantes. Il n'existe pas de règle générale pour déterminer l'emplacement des colorants dans les plantes, sauf que généralement, on les trouve dans les feuilles et les fleurs, et en moindre quantité dans les fruits et les branches. Parmi les plantes les plus importantes pour l'obtention de colorants, on peut citer le curcuma, la grenade, le henné... etc [13].

### b) Colorants animaux

Ce sont des colorants extraits de sources animales telles que la cochenille et les mollusques [13].

### c) Colorants minéraux

Les colorants minéraux sont des pigments dérivés de minéraux naturels, tels que des oxydes métalliques ou des sels métalliques. Ils sont largement utilisés dans divers domaines tels que la peinture, la teinture, la céramique et l'industrie du verre pour leur stabilité et leur durabilité [13].

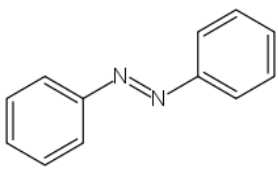
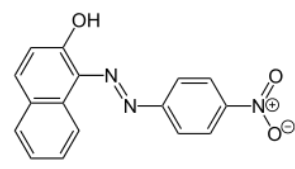
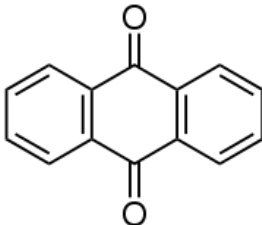
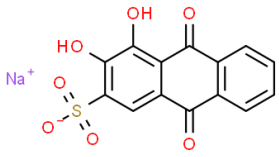
#### I.I.2.4 Classification des colorants

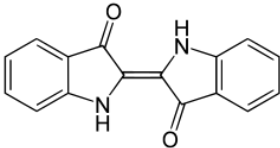
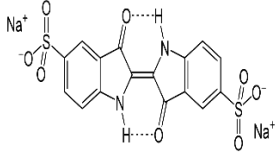
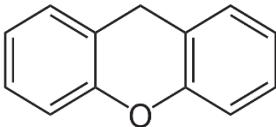
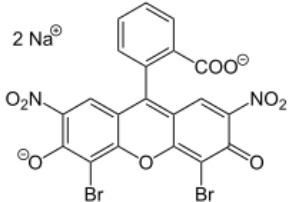
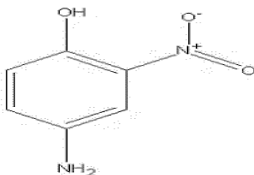
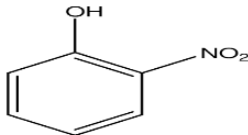
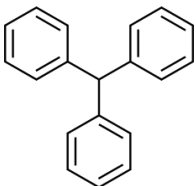
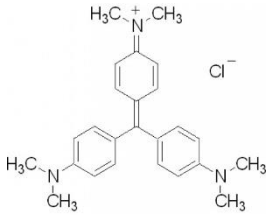
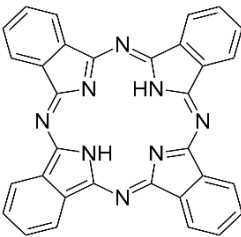
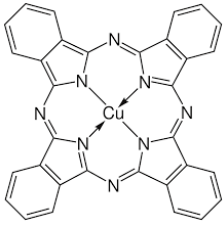
Les principaux modes de classification des colorants sont basés soit sur la constitution chimique des colorants soit sur leurs méthodes d'applications aux différents substrats (textile, papier, plastique, cuir...) [15].

##### I.I.2.4.1 Classification chimique

Cette classification s'appuie principalement sur la nature du chromophore qui constitue le squelette de la molécule nécessaire à la coloration [16].

**Tableau I.2 :** Classification chimique des colorants synthétiques.

Type	Structure	Application	Exemple
<p><b>Azoïques</b></p> <p>Sont des composés caractérisés par le groupement fonctionnel N=N reliant deux noyaux benzéniques. Ce sont les plus répandus puisqu'ils représentent 50% de la production mondiale des colorants [17].</p>		<ul style="list-style-type: none"> <li>• La teinture des fibres cellulosiques sous toutes ses formes.</li> </ul>	<p><b>Rouge para</b></p> 
<p><b>Anthraquinone</b></p> <p>Est un dérivé de l'anthracène dont la molécule de base est l'anthraquinone. Ces colorants sont très stables à la lumière et aux agents chimiques et ils représentent 20 à 25 % du marché des colorants textiles [18].</p>		<ul style="list-style-type: none"> <li>• Teinture de textile.</li> </ul>	<p><b>Rouge d'alizarine</b></p> 

<p><b>Indigoïdes</b></p> <p>Les colorants indigoïdes, dérivés de l'indigo, sont utilisés dans divers domaines comme le textile, la pharmacie et les diagnostics médicaux. Leurs variantes sélénées, soufrées et oxygénées produisent des teintes allant de l'orange au turquoise avec des effets hypsochromes significatifs [19].</p>		<ul style="list-style-type: none"> <li>• Appliqués sur la fibre (Nylon, soie, laine et le coton) par un procédé de cuve.</li> </ul>	<p><b>Carmin d'indigo</b></p> 
<p><b>Xanthènes</b></p> <p>Sont des composés organiques tricycliques fluorescents. Leur usage est bien établi comme marqueurs lors d'accidents maritime ou de traceurs d'écoulement pour des rivières souterraines [17].</p>		<ul style="list-style-type: none"> <li>• Teinture de textile</li> <li>• Alimentation</li> <li>• Cosmétique</li> <li>• Impression</li> <li>• Traceur des écoulements</li> </ul>	<p><b>Éosine</b></p> 
<p><b>Nitrés et Nitrosés</b></p> <p>Sont anciens mais toujours utilisés pour leur coût abordable. Leur structure simple inclut un groupe nitro (NO<sub>2</sub>) ortho par rapport à un groupe électro-donneur (hydroxyle ou amine) [20].</p>		<ul style="list-style-type: none"> <li>• Encres</li> <li>• Pharmacie pesticides</li> </ul>	<p><b>Ortho nitrophénol</b></p> 
<p><b>Triphénylméthanés</b></p> <p>Sont dérivés du triphénylméthane, un hydrocarbure avec trois cycles phényles attachés à un carbone central. Cette structure de base est présente dans de nombreux composés organiques colorés [21].</p>		<ul style="list-style-type: none"> <li>• Colorants textile</li> <li>• Indicateur de pH</li> </ul>	<p><b>Crystal Violet</b></p> 
<p><b>Phtalocyanines</b></p> <p>Ont une structure complexe possédant un atome métallique central et sont obtenus par réaction du dicyanobenzène en présence d'un halogénure métallique [21].</p>		<ul style="list-style-type: none"> <li>• Les pigments</li> <li>• Les encres</li> </ul>	<p><b>Bleu phtalo PB15</b></p> 

### I.1.2.4.1 Les classifications tinctoriale

Les différentes classes tinctoriales des colorants se définissent par leurs auxochromes, ces auxochromes sont des groupements ionisables qui permettent d'assurer la solubilité dans l'eau, ainsi que de créer une liaison plus ou moins solide entre le colorant et le substrat[18].

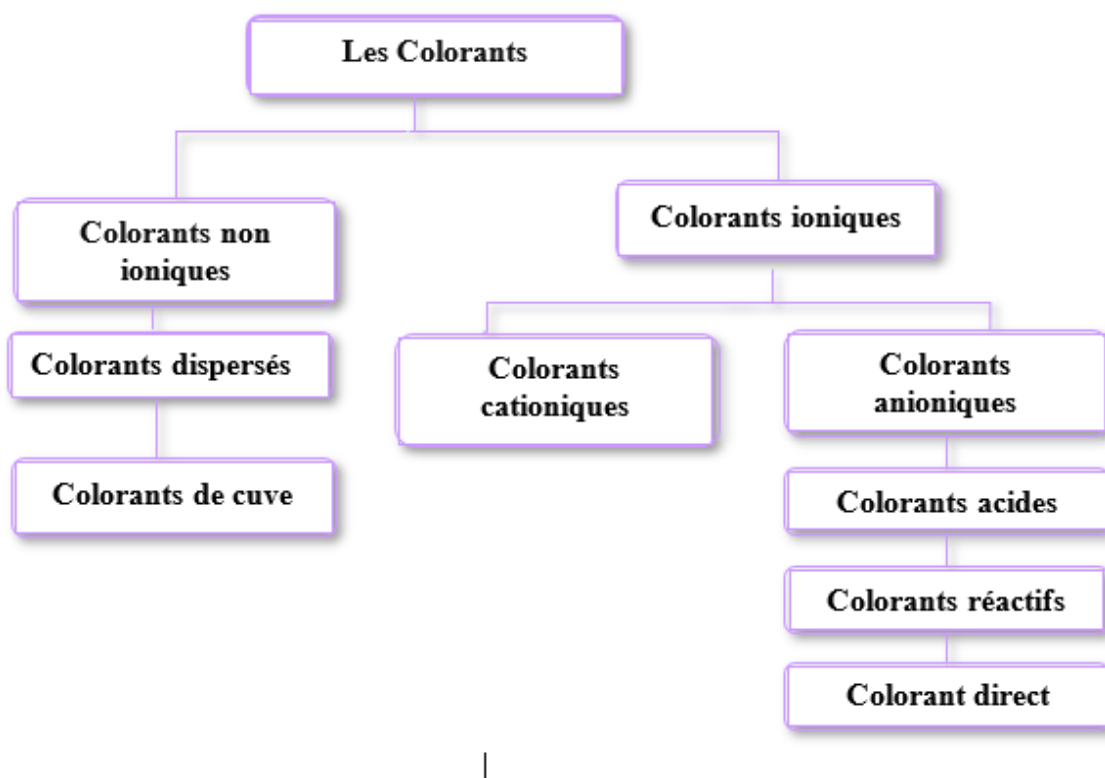


Figure I.1: Schéma montrant la classification des colorants [22].

### I.1.2.5 la toxicité des colorants

Les risques associés aux colorants proviennent de l'ignorance des chercheurs et des utilisateurs concernant leurs structures chimiques, qui varient selon le type de colorant, ainsi que de leur manque de connaissance des instructions d'utilisation appropriées lors de leur manipulation. [23].

#### I.1.2.5.1 Toxicité pour la santé humaine

- Provoquer des irritations cutanées et des dermatites eczémateuses.
- Réactions allergiques.
- Asthme et rhinite.



- Troubles gastro-intestinaux : digestion perturbée, nausées, diarrhée, et peuvent également causer des irritations cutanées, des muqueuses pulmonaires et oculaires, surtout le cancer [23].

#### **I.I.2.5.2 Toxicité pour les milieux aquatiques**

Cela entraîne de graves perturbations dans les mécanismes naturels divers existants [24] :

- Dans les plantes (réduction de la capacité d'auto-épuration des cours d'eau, inhibition de la croissance des plantes aquatiques, etc.).
- Dans les animaux (destruction de certaines espèces de poissons et de micro-organismes)

#### **I.I.2.6 Les applications des colorants**

Les colorants peuvent être utilisés dans de nombreux domaines tels que [25] :

- Dans l'industrie textile, fourrure, cuir (textiles à usage vestimentaire, de décoration du bâtiment, du transport, textiles à usage médical...).
- Dans l'industrie des matières plastiques (pigments).
- Dans l'industrie du bâtiment : peintures (pigments), matériaux de construction, céramiques...
- Dans l'imprimerie (encres, papier).
- Dans l'industrie pharmaceutique (colorants).
- Dans l'industrie des cosmétiques (dont les colorations capillaires).
- Dans l'industrie agroalimentaire (colorants et additifs alimentaires...)

#### **I.I.2.7 Les méthodes de traitement**

L'utilisation intense et irrationnelle des colorants et l'énorme risque que représente pour la qualité de l'environnement et pour la santé humaine, ont été à l'origine de plusieurs travaux visant l'élimination de ces polluants. Des procédés, physiques, physico-chimiques, chimiques et biologiques ont été développés pour éradiquer ces colorants des milieux aquatiques[26].

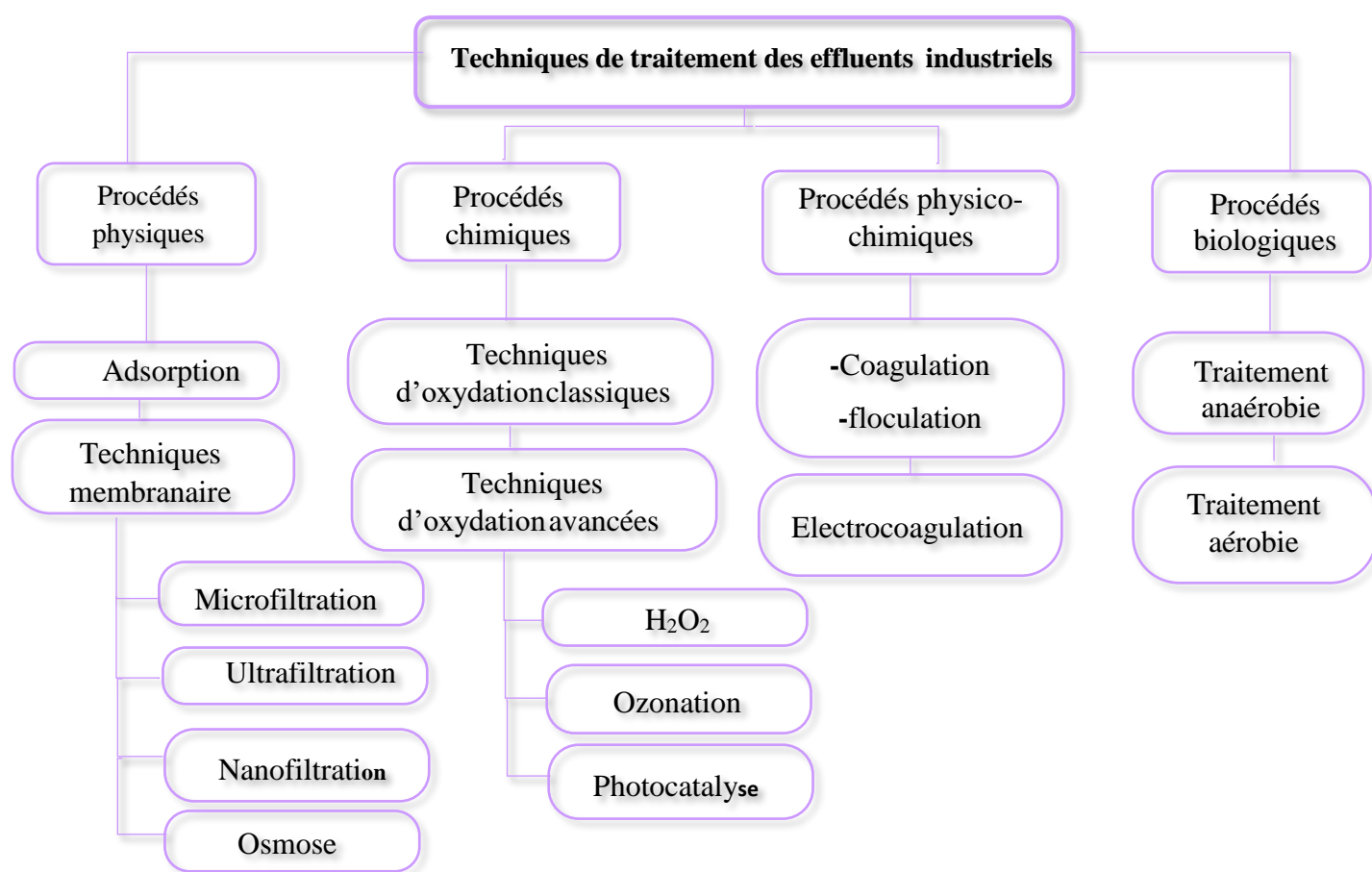


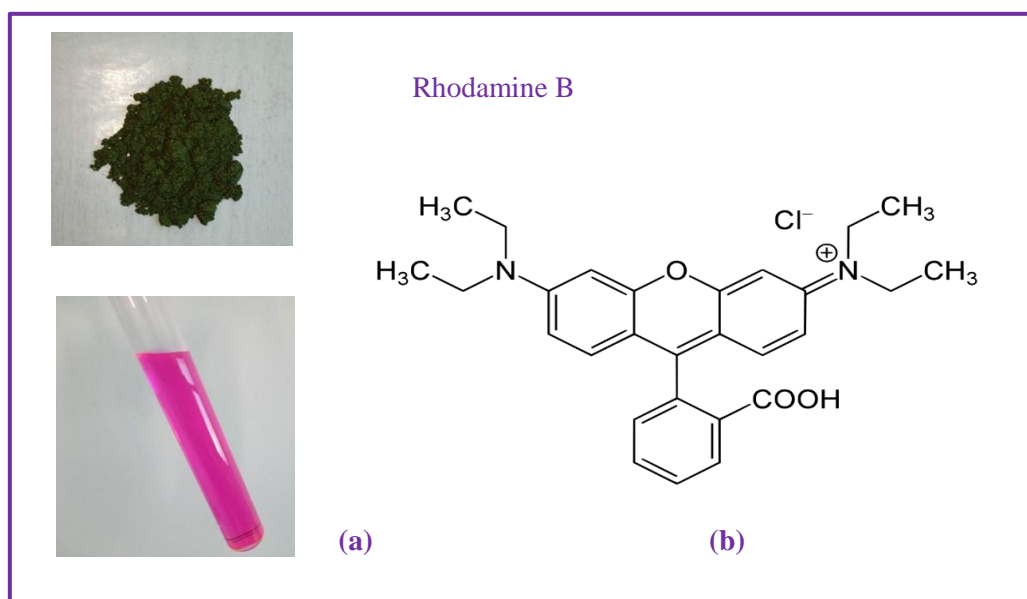
Figure I. 2: Différentes techniques de traitements des eaux usées [26].

## I.1.2.8 Présentation du colorant modèle étudié

### I.1.2.8.1 Définition

La Rhodamine B (RhB), également connue sous le nom de Rhodamine 610 ou Chlorure de [9-(2-carboxyphényl)-6-diéthylamino-3-xanthénylidène]-diéthylammonium, est un colorant basique appartenant à la classe des xanthènes. Elle se présente sous forme de cristaux vert foncé, hautement solubles dans l'eau, donnant une couleur violette rougeâtre brillante. La Rhodamine B est largement utilisée dans les industries du textile, du cuir, du jute et de l'alimentation en tant que colorant, ainsi que comme traceur fluorescent pour déterminer la vitesse et la direction des écoulements dans les rivières souterraines.

La Rhodamine B est un colorant nocif en cas d'ingestion, irritant pour les voies respiratoires et la peau. Elle peut provoquer des lésions oculaires graves en cas de contact avec les yeux. De plus, elle est potentiellement génotoxique, neurotoxique et cancérigène [27]



**Figure I.3:** La Rhodamine B: (a) Formes solide et aqueuse ; (b) structure moléculaire [27].

Les principales caractéristiques physiques et chimiques de Rhodamine B sont regroupées dans le tableau suivant :

**Tableau I.3:** Propriétés physicochimiques de Rhodamine B [28,29].

Propriétés	RB
Numéro de CAS	81-88-9
Formule chimique	$C_{28}H_{31}ClN_2O_3$
Masse moléculaire (g/mol)	479,02
$\lambda_{max}$	550-555
pka	3.7
Etat	Poudre
Caractéristique chimique	Colorant cationique
Couleur	Rouge à Violette
Odeur	Sans odeur
Densité apparente ( $kg/m^3$ )	250

<b>Solubilité dans l'eau (g/L)</b>	8 à 15 (20 °C)
<b>pH</b>	De 3 à 4

#### **I.I.2.8.2 Danger et toxicité**

La rhodamine B est irritante et dangereuse pour l'environnement. Elle présente un risque de lésions oculaires graves et est nocive pour les organismes aquatiques, avec des effets néfastes potentiels à long terme sur l'environnement aquatique. En Californie, la rhodamine B est classée comme un composé suspecté d'être cancérigène, et tous les produits en contenant doivent en faire mention clairement [27].

#### **I.I.2.8.3 Domaines d'application**

La Rhodamine B connaît diverses applications industrielles[28] :

- ✓ Teinture de fibres cellulosiques (coton, viscose, papier, bois), soie, laine, nylon, fibres acryliques ;
- ✓ Teinture des cuirs et peaux ;
- ✓ Encres ;
- ✓ Coloration de produits chimiques ;
- ✓ Coloration de fleurs et feuillages ;
- ✓ Vernis ;
- ✓ Hydrologie.

## I.II Phénomène d'adsorption

### I.II.1 Définition d'adsorption

En 1881, Kayser a inventé le terme "adsorption" afin de faire la distinction entre la condensation de gaz à la surface et l'absorption de gaz, processus dans lequel les molécules de gaz pénètrent à l'intérieur du matériau [30].

L'adsorption est le processus au cours duquel des molécules d'un fluide (gaz ou liquide), appelé un **adsorbat**, viennent se fixer sur la surface d'un solide, appelé **adsorbant**. Par la surface du solide, on sous-entend les surfaces externes et internes engendrées par le réseau de pores et cavités à l'intérieur de l'adsorbant. La désorption est le procédé inverse [31].

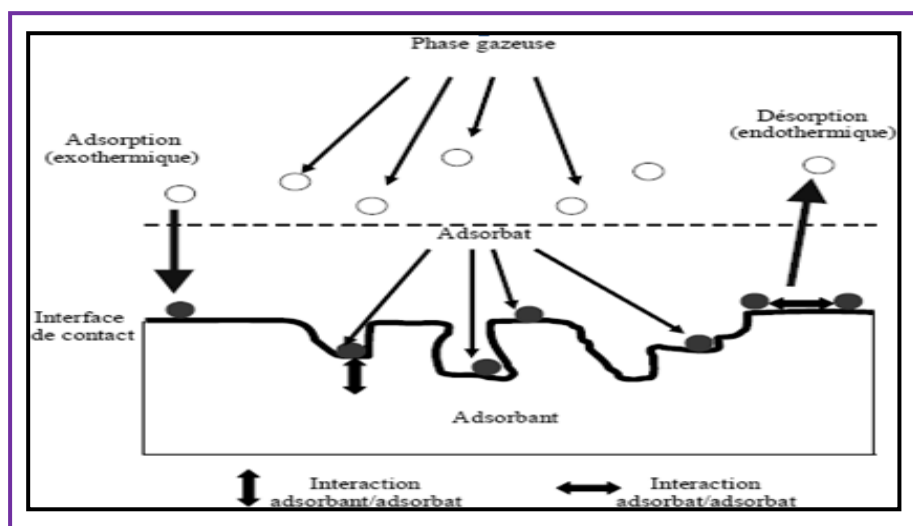


Figure I.4 : Schématisation du phénomène d'adsorption [32].

### I.II.2 Types d'adsorption

Il existe deux types de processus d'adsorption : **Adsorption Physique** ou **Physisorption** et **Adsorption Chimique** ou **Chimisorption**.

#### I.II.2.1 Adsorption Physique

L'adsorption physique est un phénomène instantané, même à des températures très basses, et réversible. Elle résulte de l'attraction entre les molécules de l'adsorbant à la surface du solide et les molécules de soluté présentes dans la phase fluide. Ces forces attractives, appelées forces de Van der Waals, sont de nature physique et correspondent à des énergies faibles [33].

#### I.II.2.2 Adsorption Chimique

Dans le cas de l'adsorption chimique, le processus résulte d'une réaction chimique qui forme

des liaisons chimiques entre les molécules d'adsorbant et la surface de l'adsorbant. L'énergie de liaison dans ce type d'adsorption est beaucoup plus élevée que dans l'adsorption physique, rendant le processus beaucoup moins réversible, voire parfois irréversible. En pratique, les procédés d'adsorption industriels exploitent généralement les propriétés de l'adsorption physique [31].

Le tableau I.4 illustre les principales différences entre l'adsorption physique et l'adsorption chimique.

**Tableau I.4 :** Comparaison entre la Physisorption et la Chimisorption[34,35].

Propriétés	Adsorption Physique	Adsorption Chimique
<b>Température</b>	Relativement basse à la température d'ébullition de l'adsorbât	Plus élevée
<b>Chaleur d'adsorption</b>	1 à 10 Kcal.mol <sup>-1</sup>	15 à 25 Kcal.mol <sup>-1</sup>
<b>Spécificité</b>	Processus non spécifique	Processus spécifique
<b>Liaison</b>	Force de Van Der Waals	Chimique
<b>Cinétique</b>	Très rapide et pratiquement indépendante de la température	Lente
<b>Désorption</b>	Facile	Difficile
<b>Energie d'activation</b>	Aucune énergie d'activation appréciable n'est mise en jeu	Energie d'activation peut être mise en jeu dans le procédé
<b>Formation des couches</b>	Formation des multicouches	Formation d'une monocouche
<b>Mécanisme</b>	Non spécifique	Spécifique

### I.II.3 Mécanisme de l'adsorption

Au cours de l'adsorption d'une espèce sur un solide, le transfert des molécules se fait de la phase fluide vers le centre de l'adsorbant. Ce processus s'opère en plusieurs étapes au sein d'un grain d'adsorbant :

- ✓ **1<sup>ère</sup> étape** (la diffusion externe) : le transfert des molécules de soluté de la phase liquide externe vers la phase liquide liée à la particule solide (par diffusion et par convection).
- ✓ **2<sup>ème</sup> étape** (la diffusion interne) : déplacement de l'eau liée jusqu'au contact avec l'adsorbant.
- ✓ **3<sup>ème</sup> étape** : la diffusion de l'adsorbat à l'intérieur de la particule de l'adsorbant sous l'effet du gradient de concentration.
- ✓ **4<sup>ème</sup> étape** : l'adsorption des molécules dans les micropores [36].

Ces étapes sont représentées dans le tableau suivant :

**Tableau I.5** : Les différentes étapes de l'adsorption [31].

<b>Etape 1</b>	Transfert de la particule	Très rapide	
<b>Etape 2</b>	Déplacement de l'eau liée jusqu'à être en contact avec l'adsorbant	Rapide	
<b>Etape 3</b>	Diffusion à l'intérieur du charbon sous l'influence du gradient de concentration.	Lente	
<b>Etape 4</b>	Adsorption dans un micropore	Très rapide	

#### I.II.4 Les facteurs Influant sur l'Adsorption

L'adsorption dépend de nombreux facteurs dont les principaux sont :

- **Les caractéristiques de d'adsorbant** : polarité, volume poreux, surface spécifique et fonctions superficielles.
- **Les caractéristiques de l'adsorbat** : polarité, solubilité et poids moléculaire, Les paramètres physico-chimiques du milieu, Température et Ph [37].

#### I.II.5 Les adsorbants

Les adsorbants sont caractérisés par leurs propriétés externes, telles que leur surface spécifique et leur polarité. Une grande surface spécifique est souhaitable pour augmenter la

capacité d'adsorption. La taille des micropores détermine l'accessibilité des molécules adsorbables à la surface interne de l'adsorbant. Ainsi, il est possible de caractériser les adsorbants en fonction de la distribution de la taille des pores, permettant de choisir l'adsorbant approprié pour une séparation spécifique [30].

### **I.II.5.1 Critères de sélection des adsorbants**

Le choix d'un adsorbant dépend de nombreux critères, parmi lesquels :

- Capacité d'adsorption : Dépend de la concentration de l'adsorbat et des conditions opératoires (température, pression, composition du gaz à traiter).
- Cinétique d'adsorption : Vitesse à laquelle l'adsorption se produit.
- Degré de sélectivité : Niveau de précision souhaité pour l'adsorption de certaines molécules spécifiques.
- Propriétés mécaniques et thermiques : Comprennent la résistance mécanique, la chaleur d'adsorption, la résistance thermique et la conductivité.
- Coût : Le prix de l'adsorbant est également un critère crucial dans le choix final [38].
- Régénération: critère crucial pour le choix des adsorbants, prolonge leur durée de vie, réduisant ainsi les coûts d'exploitation et l'impact environnemental.

### **I.II.5.2 Les types d'adsorbants**

Il existe une grande variété de solides adsorbants, chacun possédant des particularités chimiques et structurales distinctes. Ces adsorbants peuvent être de nature carbonée ou inorganique. Voici quelques exemples : Argiles, Apatites, Silice, Alumine, Zéolithes, Certaines roches....[39]. Cependant, le charbon actif reste de loin le plus utilisé dans l'industrie.

### **I.II.5.3 Généralités sur le charbon actif**

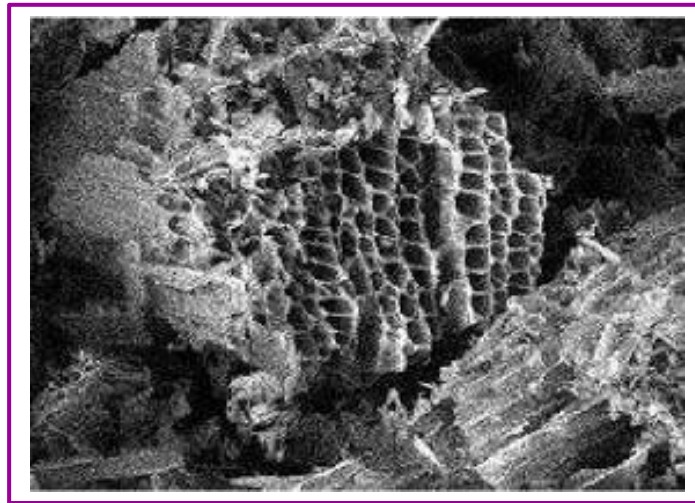
#### **A. Définition**

Les charbons actifs sont des matériaux à base de carbone produits à partir de matières premières telles que les dérivés lignocellulosiques, les déchets plastiques et les charbons minéraux, par activation chimique ou physique [40,41].

Le charbon actif est un carbone microporeux inerte qui a subi un traitement pour augmenter sa surface. Il possède ainsi une très grande surface spécifique pouvant aller de 100 à 2000 m<sup>2</sup> /g d'où sa grande capacité d'adsorption. La structure du charbon actif est proche de celle du graphite, ordonnée sous la forme d'un empilement de couches successives planes



d'atomes de carbone disposés en hexagones réguliers [42], comme illustré sur la **figure I.5**.



**Figure I.5:** Structure du charbon actif vue sous un microscope électronique [42].

## **B. Différentes formes de charbon actif**

En fonction de leurs usages, les charbons actifs se présentent souvent sous différentes formes : en poudre (CAP), en grains (CAG), ou sous forme extrudée [42].

### **a) Charbon actif en grain (CAG)**

Ces particules, de formes irrégulières, varient en taille de 0,2 à 5 mm. Ce type de charbon est utilisé pour des applications en phase liquide et gazeuse [43].

### **b) Le charbon actif en poudre (CAP)**

Le charbon actif en poudre (CAP) se présente sous forme de grains, dont 95 à 100 % des particules traversent un tamis de maille spécifique. Par exemple, selon la norme ASTM D5158, les particules ayant un diamètre inférieur ou égal à 0,177 mm sont classées comme CAP [44].

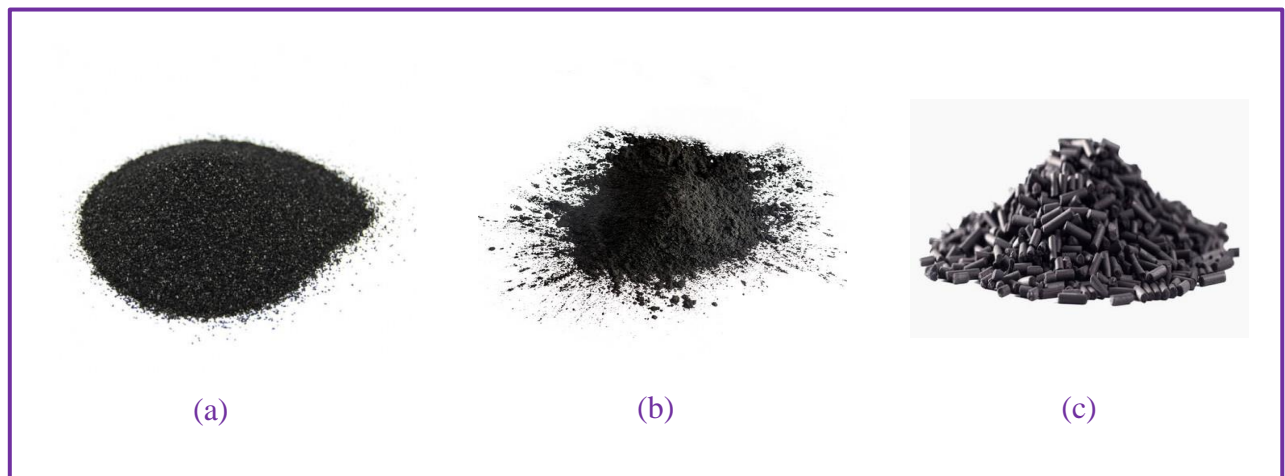
Le tableau suivant résume les avantages et inconvénients des deux types de charbon actif [45,46].

**Tableau I.6:** Avantages et inconvénients des deux types de charbon actif.

En grain		En poudre	
Avantages	Inconvénients	Avantages	Inconvénients
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Peut être utilisé comme lit fixe.</li> <li>• Principalement utilisé pour éliminer les micropolluants résistants aux traitements physico-chimiques.</li> <li>• Régénérable, ce qui est avantageux sur le plan économique.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• La cinétique d'adsorption de certains produits est lente.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• La cinétique d'adsorption de certains produits est rapide.</li> <li>• Son prix est plus avantageux que celui du charbon en grain.</li> <li>• Il favorise la floculation et la décantation.</li> <li>• Possibilité de surdosage en cas de pollution accidentelle.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Sa régénération est impossible lorsqu'il est mélangé avec des hydroxydes.</li> </ul>

### c) Le charbon actif en fibre (CAF)

Le charbon actif en fibre se présente sous une forme cylindrique avec des diamètres variant de 0,8 à 5 mm. Il est principalement recommandé pour des applications en phase gazeuse en raison de sa faible perte de charge, de sa grande résistance mécanique et de sa faible teneur en poussières [47].



**Figure 1.6:** Aspect des charbons actifs : (a) granulé, (b) Poudre, (c) Fibre.

### C. Procédés de fabrication du charbon actif

La fabrication des charbons actifs s'effectue en deux phases : la carbonisation et l'activation :

#### 1. La carbonisation

La carbonisation s'effectue entre 600 et 900 ° C sous atmosphère inerte. Elle permet l'élimination des produits volatils et la formation d'une structure poreuse [48].

#### 2. L'activation

L'activation vise à développer la structure poreuse en éliminant les goudrons obstruant les pores et en créant des fonctions de surface (généralement oxydées) responsables des interactions entre le solide et les molécules adsorbées. Ce processus peut être réalisé de manière physique ou chimique.

- ✓ **L'activation physique** permet de développer les pores existants et d'en créer de nouveaux. Elle est réalisée entre 800°C et 1000°C en présence d'un gaz faiblement oxydant (air), de vapeur d'eau, de CO<sub>2</sub>, ou d'un mélange de ces gaz.
- ✓ **L'activation chimique** consiste à imprégner le matériau de départ avec une solution concentrée d'agents très oxydants et/ou déshydratants (comme l'acide phosphorique ou le chlorure de zinc). Le matériau subit ensuite une pyrolyse entre 400°C et 800°C à l'abri de l'air, puis il est lavé et séché, obtenant ainsi le charbon actif en une seule étape. Le degré d'imprégnation du matériau en agents oxydants détermine la structure poreuse finale. Suite à l'activation, le charbon actif acquiert une structure poreuse polydispersée : les pores sont de formes et de dimensions variées. La répartition des pores dépend de la nature de la matière première ainsi que des conditions de l'activation. Par conséquent, les propriétés physico-chimiques d'un charbon peuvent varier même pour un même précurseur [47].

### D. Propriétés du charbon actif

Les différentes propriétés du charbon actif sont fortement liées au type de la matière première ainsi qu'aux conditions de fabrication (le mode d'activation) :

#### 1. Les propriétés texturales

La texture du charbon actif est essentiellement caractérisée par deux paramètres[49]:

- L'air spécifique.
- La porosité.

Ces propriétés texturales confèrent au charbon actif une capacité d'adsorption de nombreuses espèces chimiques. En effet, le charbon actif est réputé pour sa grande surface spécifique et sa distribution très variée des tailles de pores, que l'on peut classer en trois groupes selon l'IUPAC :

- Les macropores : les pores de largeur supérieure 50nm ;
- Les mésopores : les pores de largeur comprise entre 2 et 50nm ;
- Les micropores : les pores de largeur inférieure à 2nm et sont aussi appelées nanopores.

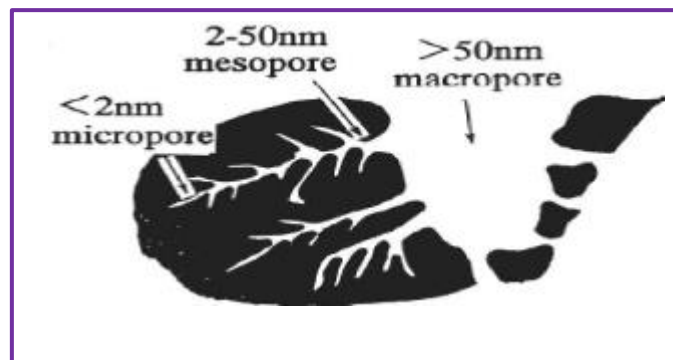


Figure I.7 : Représentation de la structure poreuse de charbon actif.

## 2. Les propriétés chimiques du charbon actif

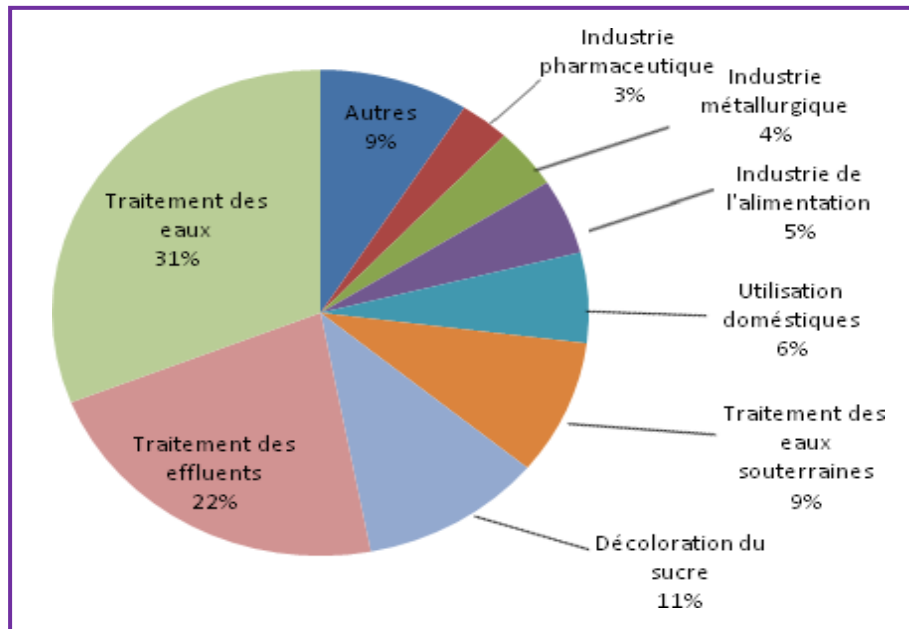
La présence d'hétéroatomes (comme l'oxygène, l'hydrogène et les métaux) ainsi que l'irrégularité de la structure microcristalline du charbon actif permettent la formation de groupements fonctionnels. Ces groupements définissent les propriétés superficielles et chimiques (acido-basiques) du charbon actif, jouant un rôle important dans le processus d'adsorption.

Le charbon actif présente deux types de classement selon son caractère physicochimique :

- ✓ Charbons acides : Ils possèdent un caractère acide avec une surface naturellement hydrophile.
- ✓ Charbons basiques : Ils possèdent un caractère basique avec une surface naturellement hydrophobe[49].

## E. Les domaines d'utilisations du charbon actif

Les charbons actifs sont très répandus dans de multiples applications domestiques et industrielles, avec une prévalence de 82% dans leur utilisation en phase liquide. Leur utilisation concerne différents secteurs d'activité (**Figure I.8**), principalement pour le traitement de l'eau, de l'air et des gaz [50].



**Figure I.8:** Domaines d'utilisation des charbons actifs dans des applications en phase liquide[50].

## F. Les adsorbants magnétiques

Les particules d'oxydes magnétiques ont été l'objet de nombreux travaux depuis plusieurs décennies et ont trouvé de nombreuses applications dans divers domaines tels que la fabrication, l'électronique, les télécommunications, la santé et même la dépollution. Dans le domaine de l'environnement, les matériaux composites ont été largement étudiés, et il a été conclu que leur morphologie et leurs propriétés structurales les rendent potentiellement exploitables en tant qu'adsorbants pour divers types de polluants [29].

### a. Charbons actifs à propriétés ferromagnétiques

Les charbons actifs à propriétés ferromagnétiques représentent une solution innovante pour surmonter les défis liés à la récupération des adsorbants chargés en polluants. Bien que le charbon actif soit reconnu pour son pouvoir d'adsorption exceptionnel, la récupération de ces adsorbants chargés en polluants reste un défi majeur. L'intégration de propriétés magnétiques

et absorbantes au sein d'un même matériau présente un potentiel prometteur pour résoudre ce problème.

La synthèse des charbons actifs à propriétés ferromagnétiques implique généralement un processus d'activation chimique, où la carbonisation et l'activation se déroulent simultanément. Ce processus comprend l'imprégnation du charbon actif dans une solution de sels de métaux ferromagnétiques, suivie d'une filtration, d'un lavage et d'un séchage. L'incorporation de cristaux d'oxydes métalliques, provenant de sels de métaux comme le fer, le nickel, le cobalt ou de leurs alliages, confère au matériau ses propriétés magnétiques[29].

Parmi ces matériaux magnétiques, le cobalt offre une plus grande stabilité à l'oxydation par rapport au fer et au nickel, mais il est généralement plus coûteux. Le nickel, quant à lui, est souvent utilisé dans la production de gaz par gazéification pour favoriser la décomposition du méthane en hydrogène et en monoxyde de carbone.

#### **b. Le magnétisme dans le traitement des eaux**

L'intégration de matériaux magnétiques dans les processus de traitement des eaux offre une solution prometteuse pour surmonter certains des inconvénients des méthodes actuelles. L'utilisation du magnétisme dans ces procédés peut accélérer la séparation des déchets des effluents, un défi persistant dans ce domaine. Le principe fondamental de la séparation magnétique dans le contexte de la dépollution implique l'ajout de particules magnétiques au milieu, qui adsorbent divers polluants, organiques ou inorganiques, puis leur extraction grâce à l'application d'un gradient de champ magnétique.

Sur le plan académique, un nombre croissant de chercheurs s'efforcent de développer des adsorbants magnétiques performants. Parmi eux, les oxydes de fer magnétiques, tels que la maghémite  $\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$  et la magnétite  $\text{Fe}_3\text{O}_4$ , préparés facilement par coprécipitation alcaline, sont particulièrement connus. Ces oxydes de fer peuvent être combinés à d'autres matériaux, comme les zéolithes magnétiques ou les argiles magnétiques, qui ont été développées pour l'adsorption de métaux. De plus, du charbon actif magnétique a été synthétisé pour éliminer des composés spécifiques tels que le trinitrophénol et l'aniline [29].

### Les références du chapitre I

- [1] K. AMANI, " L'étude de l'adsorption du paracétamol sur un Biochar synthétisé à partir un déchet agricole (fibre de palmier) ", Mémoire de master, Université Mohamed Khider de Biskra, 2023.
- [2] S. Raweh, D. Belghyti, A. B. Al-Zaemey, Y. El Guamri, et K. Elkharrim, " Qualité physico-chimique des eaux usées de la station d'épuration de la ville de S'Anaa (Yemen) ", International Journal of Biological and Chemical Sciences, vol. 5, n° 1, 2011.
- [3] I. Roussel, " La pollution atmosphérique entre santé et environnement (1958-1996) L'exemple de l'Association pour la prévention de la pollution atmosphérique (APPA), de sa création à la loi de 1996 ", Ecologie & politique, n° 1, p. 35-52, 2019.
- [4] F. Colin, " Pollution localisée des sols et des sous-sols par les hydrocarbures et par les solvants chlorés, Académie des sciences, rapport n° 44, Editions Tec&Doc ", 2000.
- [5] D. B. Gupta, " The importance of water resources for urban socioeconomic development ", in International Conference on Water and the Environment: Development Issues for the 21st Century. Dublin. Irlande, 1992.
- [6] B. ABDERRAHIM, " étude de la qualité des eaux de la rivière oum er rbia: approche analytique et chimométrique, et traitement des effluents par voie physicochimique et biologique ", 2020.
- [7] S. Mohammed, " Traitement des eaux usées dans la ville de Mostaganem, état actuel et perspectives ", Consulté le: 26 mai 2024. [En ligne]. Disponible sur: <http://e-biblio.univ-mosta.dz/bitstream/handle/123456789/13407/memoire%20final%202019.pdf?sequence=1>
- [8] H. NICHANI, W. HAFUUDI, et H. Gaffour, " Etude de la dégradation d'un produit Pharmaceutique par des procédés d'oxydation avancée ", PhD Thesis, université Ahmed Draia-ADRAR, 2021.
- [9] HAMMAR Amel et MAIBECHE Thiziri, "Adsorption de colorants et de métaux lourds par des bioadsorbants ", Mémoire de Master, Université A. MIRA - Béjaïa, 2020.
- [10] K. Benabbas, " Intensification de la sorption de colorants textiles par la biomasse sèche de lentilles d'eau- effet de prétraitements chimique et mécanique du biosorbant, " université Badji Mokhtar Annaba faculté des sciences de l'ingénierat, 2020.

- [11] Y. Bentahar, " Caractérisation physico-chimique des argiles marocaines: application à l'adsorption de l'arsenic et des colorants cationiques en solution aqueuse ", PhD Thesis, Université Côte d'Azur (ComUE), 2016.
- [12] S. Hammami, " Étude de dégradation des colorants de textile par les procédés d'oxydation avancée. Application à la dépollution des rejets industriels ", PhD Thesis, Université de Marne la Vallée, 2008.
- [13] R. Belhosine, et Ch. Elmokadem, " Adsorption of textile dye from aqueous solution onto natural and activated illite-kaolin Clay ", mémoire master chemistry, 2020.
- [14] N. Barka, " L'élimination des colorants de synthèse par adsorption sur un phosphate naturel et par dégradation photocatalytique sur TiO<sub>2</sub> supporté ", Université Ibn Zohr Faculté des Sciences d'Agadir, Maroc, 2008.
- [15] J. Swamy, "The biodecoloration of textile dyes by the white rot fungus *Trametes versicolor*. Queen's University at Kingston, 1999. Consulté le: 26 mai 2024. [En ligne]. Disponible sur: <https://library-archives.canada.ca/eng/services/services-libraries/theses/Pages/item.aspx?idNumber=46581635>
- [16] E. Guivarch, " Traitement des polluants organiques en milieux aqueux par procédé électrochimique d'oxydation avancée" Electro-Fenton": application à la minéralisation des colorants synthétiques », PhD Thesis, Université de Marne-la-Vallée (1991-2019), 2004.
- [17] S.HADDOUM et F.MEZIANI, " Adsorption de colorant de l'industrie textile sur les écorces d'orange ", mémoire de master, Ecole Nationale Polytechnique, 2015.
- [18] I. LANSARI, " Elimination des colorants textiles par des sorbants naturels ", PhD Thesis, Université de Tlemcen-Abou Bekr Belkaid.
- [19] H. Trabelsi, " Etude de la Dégradabilité et de la Toxicité des Colorants par Ozonation et Photocatalyse ", PhD Thesis, Yahia Fares University of Medea Medea, Algeria, 2014.
- [20] Z. Abdennour et G. Borhane, " Elimination d'un colorant par adsorption sur support solide et par procédés photochimiques, en milieu aqueux. ", 2017.
- [21] S. Aissani, " Élimination du bleu de méthylène à partir de solutions aqueuses par adsorption sur une biomasse: Les akènes de typha latifolia ", 2013.
- [22] A. Dufresne, Nanocellulose: "from nature to high performance tailored materials". Walter de Gruyter GmbH & Co KG, 2017.
- [23] I. BELBACHIR, " Modification de la Bentonite de Maghnia et Applications dans l'adsorption de colorants textiles et de métaux lourds. ", PhD Thesis, 23-10-2018, 2018.



- [24] G. Samira, " Biosorption des colorants textiles, Ecarlate Solophényl BNLE et Vert Cibacron par la biomasse sèche de lentilles d'eau ", PhD Thesis, Université Badji Mokhtar, 2015.
- [25] M. N. Crepy, " Dermatoses professionnelles aux colorants ", Documents pour le médecin du travail, n° 100, p. 565-576, 2004.
- [26] H. Zeghache et S. Hafsi, " Etude de l'adsorption des colorants sur un matériau poreux charbon actif ", University Of Oum El Bouaghi, 2020.
- [27] CHOUMANE Ahmed et MAHSAR Wahiba, " Etude de l'élimination de la rhodamine b par adsorption sur la bentonite brute et traitée ", Mémoire de Master, Université Dr. Moulay Tahar-SAIDA, 2014.
- [28] BOUBEGRA DAHBIA, " Application des plans d'expériences pour la modélisation du traitement par EC des eaux de mer polluées à la Rhodamine B ", Mémoire de Master, École Nationale Polytechnique, 2015.
- [29] Chidadi Djazia et Chachou Fatima, " Préparation d'un adsorbant magnétique pour la rétention d'un polluant organique ", Diplôme de Master, UNIVERSITE ABDELHAMID IBN BADIS - MOSTAGANEM Faculté des Sciences Exactes et d'Informatique, 2022.
- [30] F. Benamraoui, " Elimination des colorants cationiques par des charbons actifs synthétisés à partir des résidus de l'agriculture ", PhD Thesis, 2018.
- [31] N. Azouaou, " Etude de l'adsorption des métaux lourds sur des matériaux végétaux ", PhD Thesis, Alger, 2012. Consulté le: 19 avril 2024. [En ligne]. Disponible sur: <https://www.ccdz.cerist.dz/admin/notice.php?id=00000000000000039745000000>
- [32] C. Wassila, " Etude et analyse d'une machine frigorifique solaire à adsorption ", Université Mentouri-Constantine, Faculté des Sciences Exactes, Département de physique, 2008.
- [33] S. Arris, " Étude expérimentale de l'élimination des polluants organiques et inorganiques par adsorption sur des sous produits de céréales ", PhD Thesis, Thèse de doctorat, 2008.
- [34] H. Aksas, "Étude cinétique et thermodynamique de l'adsorption des métaux lourds par l'utilisation des adsorbants naturels ", PhD Thesis, Université de Boumerdès-M'hamed Bougara, 2013.
- [35] J. Reungoat, " Etude d'un procédé hybride couplant adsorption sur zéolithes et oxydation par l'ozone. Application au traitement d'effluents aqueux industriels ", PhD Thesis, Institut National des Sciences Appliquées de Toulouse, 2007.

- [36] H. Laksaci, " Étude de l'activation d'un résidu local «marc de café» ", PhD Thesis, Faculté de Chimie, 2017. Consulté le: 19 avril 2024. [En ligne]. Disponible sur: <https://www.ccdz.cerist.dz/admin/notice.php?id=00000000000000862016000104>
- [37] R. Ubago-Pérez, F. Carrasco-Marín, D. Fairén-Jiménez, et C. Moreno-Castilla, " Granular and monolithic activated carbons from KOH-activation of olive stones ", Microporous and mesoporous materials, vol. 92, n° 1-3, p. 64-70, 2006.
- [38] M. L. SEKIRIFA, " Étude des propriétés adsorbantes des charbons activés issus des noyaux de dattes. Application au traitement d'effluent aqueux ", PhD Thesis, Université de Annaba-Badji Mokhtar, 2013. Consulté le: 18 avril 2024. [En ligne]. Disponible sur: <https://www.pnst.cerist.dz/detail.php?id=874378>
- [39] B. AbdelKader, « Application des Biomasses à la Récupération des Polluants des Eaux Usées », 2018.
- [40] L. Muniandy, F. Adam, A. R. Mohamed, et E.-P. Ng, " The synthesis and characterization of high purity mixed microporous/mesoporous activated carbon from rice husk using chemical activation with NaOH and KOH ", Microporous and Mesoporous Materials, vol. 197, p. 316-323, 2014.
- [41] A. Temmar, " Synthèse d'un support polypyrrole intercalé dans la bentonite. Applications à l'élimination des métaux lourds (Cr<sup>6+</sup>, Pb<sup>2+</sup>, Zn<sup>2+</sup>, Cd<sup>2+</sup>) ", PhD Thesis, Université M'Hamed Bougara, Faculté des sciences de l'ingénieur, 2016.
- [42] J. Omlin et L. Chesaux, "Evaluation de charbons actifs en poudre (CAP) pour l'élimination des micropolluants dans les eaux résiduaires urbaines ", 2010, Consulté le: 18 avril 2024. [En ligne]. Disponible sur: <https://infoscience.epfl.ch/record/150467>
- [43] J. Wu et D. D. L. Chung, " Increasing the electromagnetic interference shielding effectiveness of carbon fiber polymer–matrix composite by using activated carbon fibers ", Carbon, vol. 40, n° 3, p. 445-447, 2002.
- [44] B. Bestani, " Amélioration du pouvoir d'adsorption d'une plante Saharienne en vue de l'élimination de substances organiques et inorganique ", Doctorat, Université des Sciences et de la Technologie d'Oran Mohamed Boudiaf El Mnaouar, Oran, 2005.
- [45] L. Robert, " Généralités sur l'adsorption ", p. J2780-2040, 1997.
- [46] C. Gomella et H. Guerrée, "Le traitement des eaux publiques, industrielles et privées". Eyrolles, 1978.

- [47] Z. Abdellatif née Chennouf, " Préparation de charbon mesoporeux actif a base de polymeres synthetiques et derives ligno-cellulosiques et application dans l'adsorption des polluants organiques ", Universite Blida 1, 2017.
- [48] C. E. Kerek, S. A. Laid, et K. Bellir, "Valorisation de certains biomatériaux en vue de l'élimination d'un polluant organique par adsorption ", Universite Constantine3, 2022.
- [49] I. LANSARI, " Elimination des colorants textiles par des sorbants naturels ", PhD Thesis, Université de Tlemcen-Abou Bekr Belkaid. Consulté le: 18 avril 2024. [En ligne]. Disponible sur: <https://www.pnst.cerist.dz/detail.php?id=904863>
- [50] N. Khelifa, " Utilisation de nouvelles matrices adsorbantes à base de terre à diatomée dans la dépollution de l'eau ", PhD Thesis, Faculté de Chimie, 2017. Consulté le: 18 avril 2024. [En ligne]. Disponible sur: <https://www.ccdz.cerist.dz/admin/notice.php?id=00000000000000814400000104>

*Partie pratique*

*Chapitre II :*  
*Matériel et méthodes*

## CHAPITRE II

## Matériel et méthodes

## II.1. Introduction

Cette partie pratique est réalisée au sein du laboratoire de recherche Médicament et Développement Durable (ReMeDD) de notre faculté. Nous y présenterons les protocoles de préparation et de caractérisation des différents adsorbants, ainsi que les essais d'élimination de la Rhodamine B (RhB) par adsorption en mode batch (discontinu). De plus, tout le matériel et les réactifs utilisés seront détaillés dans les sections suivantes.

## II.2 Caractéristiques physico- chimiques des produits utilisés

Le tableau ci-après regroupe tous les réactifs utilisés au cours des expériences réalisées tout au long de notre étude expérimentale, ainsi que leurs caractéristiques. Compte tenu de leur qualité, ces composés chimiques ont été utilisés sans aucune purification préalable.

**Tableau II.1:** Les caractéristiques des produits utilisées.

Produis	Formule chimique	Masse molaire (g/mol)	Densité	Pureté (%)	Provenance
Chlorure de fer (III)	FeCl <sub>3</sub>	270.30	-	98	Biochem
Chlorure de sodium	NaCl	58.44	-	99.9	Analar normapur
Hydroxyde de sodium	NaOH	40	-	99	Biochem
Acide Chlorhydrique	HCl	36.46	1.49	36.5-38	Carlo erba
Sulfate de fer (II) heptahydraté	FeSO <sub>4</sub> ·7H <sub>2</sub> O	278.02	-	99-101	Prs panreac
Nitrate d'argent	AgNO <sub>3</sub>	169,87	-	99.9	Carlo erba
Chlorure de Zinc	ZnCl <sub>2</sub>	136.29	-	99	Sigma-aldrich

## II.3 Matériels et appareillages

## II.3.1 Matériels

- Bécher
- Erlenmeyer
- Eprouvette graduée

- Fioles jaugées
- Pipettes graduées
- Verre de montre
- Spatule
- Entonnoir
- Burette
- Pissette
- Barreaux magnétiques
- Entonnoir
- Creuset
- Büchner
- Système de filtration sous vide (Fiole à vide, entonnoir, pompe à vide)

### II.3.2 Appareillage

- **Plaque chauffante à agitateur magnétique :**

L'agitation et le chauffage des solutions, ont été réalisées sur une plaque chauffante de marque DIAB MS7-H-S.



**Figure II.1:** Plaque chauffante à agitateur magnétique de la marque DIAB MS7-H-S.

- **Le spectrophotomètre (UV-Visible) :**

La spectroscopie UV-Vis est une technique analytique permettant de mesurer la quantité de lumière ultraviolette (UV) ou visible absorbée ou transmise par un échantillon, en comparaison à un échantillon de référence ou blanc. Cette propriété dépend de la composition de l'échantillon, fournissant ainsi des informations potentielles sur les constituants de l'échantillon et leur concentration [1].



Figure II.2: Spectrophotomètre UV-Visible de la marque SHIMADZU.

Le Domaine de l'ultraviolet et du visible quatre types de spectroscopie qui dépendent du domaine de longueur d'ondes utilisées[2]:

- UV :  $200 \text{ nm} < \lambda < 400$
- Visible :  $400 \text{ nm (violet)} < \lambda < 800 \text{ nm (rouge)}$
- Infrarouge :  $2 \mu\text{m} < \lambda < 50 \mu\text{m}$
- RMN :  $0.1 \text{ m} < \lambda < 1 \text{ m}$

la quantité de lumière absorbée est Proportionnelle à la concentration du composé coloré recherché comme le montre la loi de Beer-Lambert [3]:

#### La loi de Beer-Lambert

La loi de Beer-Lambert stipule que, pour une longueur d'onde  $\lambda$  spécifique, l'absorbance d'une solution est proportionnelle à sa concentration et à la distance parcourue par la lumière à travers la solution (épaisseur de la solution)[4]. L'absorbance est définie comme suit :

$$I = I_0 e^{-lC} \quad (\text{II.1})$$

Avec:

- $I_0$  : l'intensité de la lumière incidente
- $I$  : l'intensité après passage à travers la cuve contenant la solution (intensité transmise)
- $l$  : la distance traversée par la lumière (épaisseur de la cuve) (en cm)
- $C$  : la concentration des espèces absorbantes (mol/L)
- $\epsilon$  : le coefficient d'extinction molaire (l/mg cm ou l/mol cm).



$$A = \log I_0 / I = \epsilon l C \quad (\text{II.2})$$

Où :

- A : est l'absorbance du composé

- **pH mètre :**

Le pH-mètre est un appareil portable facile à utiliser pour déterminer la valeur du pH dans des solutions aqueuses. Le pH-mètre étanche, sert à déterminer la valeur du pH rapidement et avec précision[5].



**Figure II.3:** pH-mètre de la marque HANNA.

- **La balance analytique :**

La balance de laboratoire est un instrument de mesure de base utilisé pour évaluer des masses inconnues en les comparant à des masses connues, également appelées masses marquées [5].



**Figure II.4:** Balance de la marque de KERN ABJ-NM/ ABS-N

- **L'étuve :**

Est un équipement polyvalent largement utilisé dans divers domaines tels que la pharmacie, la technologie environnementale, l'industrie alimentaire et agricole, ainsi que la recherche. Elle sert à effectuer des analyses de la teneur en matière sèche et en humidité, notamment par la méthode de séchage à l'étuve. De plus, elle est utilisée pour le séchage de composants et la préparation des échantillons[5].



**Figure II.5:** Etuve de la marque de Memmert.

- **Four :**

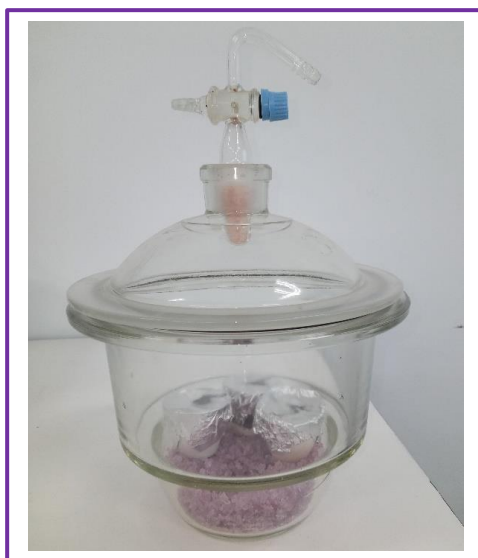
Le four à moufle de laboratoire est un équipement essentiel pour la préparation des échantillons en laboratoire. Il offre la possibilité d'effectuer divers traitements thermiques sur les échantillons[5].



**Figure II.6:** Four à moufle de la marque Nabertherm.

- **Dessiccateurs :**

Les dessiccateurs sont des enceintes hermétiquement scellées qui contiennent des dessiccants tels que le gel de silice. Ils sont utilisés pour préserver les produits chimiques sensibles à l'humidité[5].



**Figure II.7:** Dessiccateur.

- **Centrifugeuse :**

La centrifugeuse est un équipement indispensable dans de nombreux processus de laboratoire, permettant de séparer rapidement les particules et les composants d'un mélange. Cela est possible grâce à la génération d'une force centrifuge qui agit sur le mélange de substances, exploitant ainsi la différence de densité entre les différents composants pour les séparer[6].



**Figure II.8:** Centrifugeuse de la marque ONILAB DM0412.

## II.4 Préparation des adsorbants

### II.4.1 Préparation du charbon actif conventionnel CAC

Le schéma suivant explique en détaille les différentes étapes suivies pour la préparation de notre support solide:

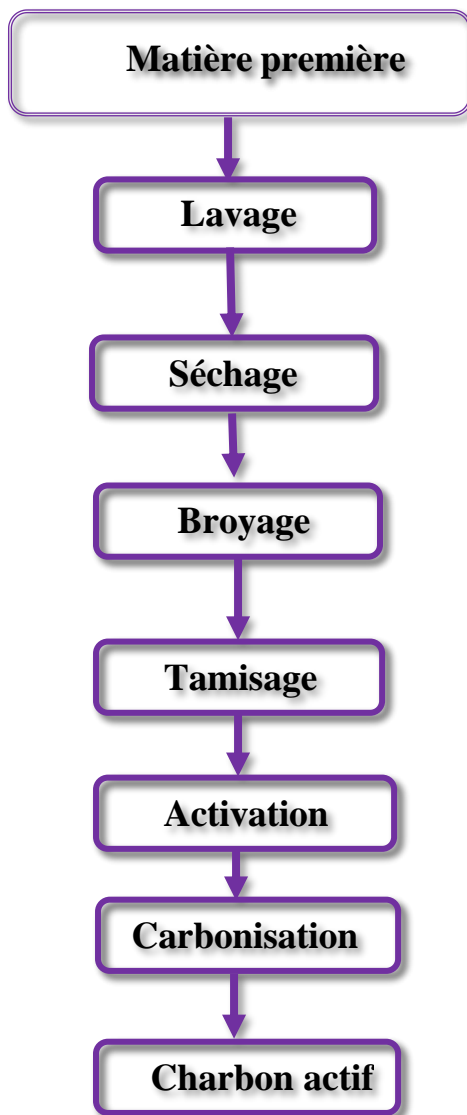


Figure II.9 : Schéma représentant la préparation du biochar.

✓ **Lavage :**

La matière première est lavée plusieurs fois à l'eau distillée afin d'éliminer toute sorte de poussières ou d'impuretés adhérentes, jusqu'à l'obtention d'eaux de lavage claires.

✓ **Séchage**

Le séchage des matériaux a été réalisé dans une étuve, pendant 24 heures à 110°C. En vue de prévenir une éventuelle altération des propriétés physicochimiques des matériaux.

✓ **Broyage**

Le broyage a été effectué afin d'obtenir des matériaux homogènes pour les besoins des études de laboratoire, produisant des grains de petite taille. Cette opération a été réalisée à l'aide d'un broyeur.

Les **figures II.10, II.11** ci-dessous représentent dans l'ordre le broyeur utilisé et un échantillon broyé à l'aide de ce dernier.



**Figure II.10 :** Broyage électrique.



**Figure III.11:** la biomasse après le broyage

### ✓ Tamisage

Les tailles des particules utilisées pour les essais d'adsorption ont été isolées mécaniquement au moyen d'un tamiseur, pour des grains de même taille (Diamètre = 1.25mm-fond).

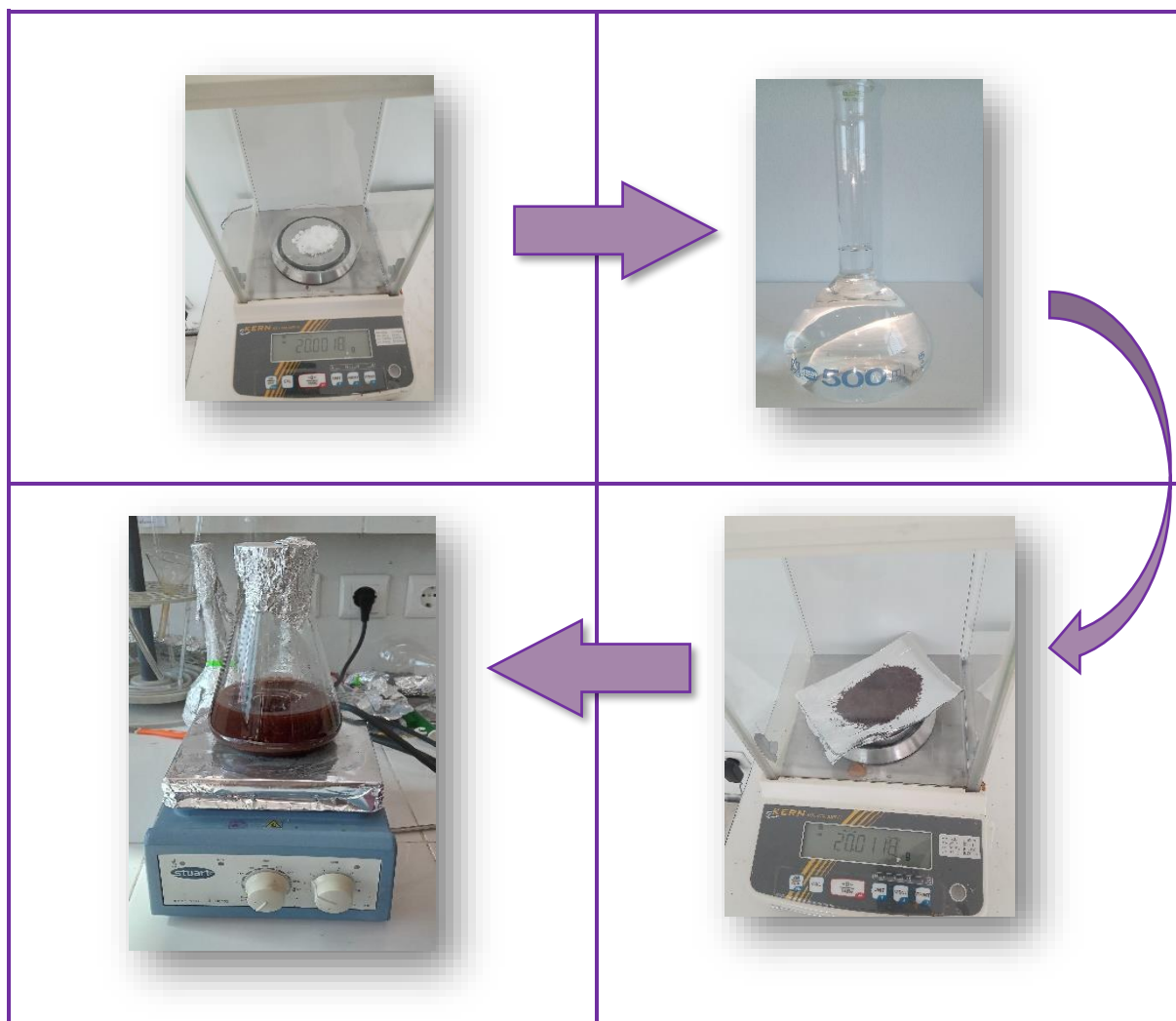


**Figure II.12:** Appareille de tamisage.

**✓ L'Activation chimique par  $ZnCl_2$** 

L'activation chimique avec le  $ZnCl_2$  améliore la porosité de la structure carbonée, entraînant des rendements élevés en carbone grâce à l'efficacité des produits chimiques[7].

Dans cette méthode, une solution de 20 g de  $ZnCl_2$  dans 250 ml d'eau distillée est préparée. Ensuite, la matière première (20 g) est immergée dans cette solution et agitée pendant 24 heures à température ambiante, avec un rapport massique de 1:1 entre la matière première et la solution. Cette agitation prolongée garantit une répartition uniforme du  $ZnCl_2$  sur la matière première, favorisant ainsi la réaction d'activation.



Par la suite, le mélange a été séché dans une étuve à 105 °C pendant 48 heures. Le mélange ainsi obtenu a été conservé hermétiquement, à l'abri de la lumière et de l'humidité.





**Figure II.13:** La matière première activé par  $ZnCl_2$ .

### ✓ Carbonisation

Le résidu a été introduit dans un four à moufle réglée à  $600^{\circ}C$ , et maintenu à cette température pendant 1 heures. Une fois carbonisé, le matériau obtenu a été déjà broyé.



**Figure II.14:** Carbonisation de la matière première activée.

### ✓ Lavage

Après avoir récupéré le matériau, nous procédons à son lavage avec de l'eau distillée afin de neutraliser le pH du charbon ( $pH = 7$ ). Cette étape est relativement lente et nécessite une consommation importante d'eau distillée. Le pH de l'eau de lavage est mesuré à l'aide d'un pH-mètre.



Figure II.15: Filtration du charbon actif (CAC).

Un test de fin de lavage a été effectué en utilisant une solution de  $\text{AgNO}_3$  de concentration 0,1 molaire afin de détecter les traces de chlore.

#### II.4.2 Préparation du charbon actif magnétique CAM

##### a) Dissolution des sels de fer ( $\text{FeCl}_3$ et $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ )

La préparation du charbon actif magnétique (CAM) commence par la dissolution des sels de fer ( $\text{FeCl}_3$  et  $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ ). Pour cela, 7,2 g de  $\text{FeCl}_3$  (chlorure de fer (III)) sont dissous dans 520 ml d'eau distillée, tandis que 8 g de  $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$  (sulfate de fer (II) heptahydraté) sont dissous dans 60 ml d'eau distillée, formant ainsi deux solutions distinctes. Ensuite, ces solutions sont mélangées pour la suite du processus.

##### b) Mélange sous atmosphère inerte

Après avoir dissous les sels, les solutions sont soigneusement combinées et agitées pendant 20 minutes sous une atmosphère inerte, garantissant ainsi une protection contre l'exposition à l'oxygène de l'air, évitant ainsi toute oxydation prématurée ou réaction indésirable.

##### c) Incorporation du charbon actif

Lorsque l'agitation est terminée, 20 g du charbon actif conventionnel CAC sont ajoutés au mélange obtenu.

##### d) Précipitation de nanoparticules de Fer

Pour assurer une précipitation complète, une solution concentrée de NaOH (hydroxyde de sodium) à 10 M est introduite dans le mélange sous agitation. Le pH du mélange est ensuite



ajusté à une valeur de  $11 \pm 0.1$ , favorisant ainsi la précipitation de nanoparticules de Fer à partir des ions de fer en solution.

**e) Contrôle de la température de réaction**

La réaction est maintenue à une température constante de  $80\text{ }^{\circ}\text{C}$  pendant 2 heures, permettant la formation et la croissance des nanoparticules de Fer sur la surface du Charbon actif



**Figure II.16:** Magnétisation du charbon actif commercial par précipitation en milieu basique (NaOH).

Finalement nous avons réalisé la filtration pour obtenir le charbon actif magnétisé (CAM) après un lavage à l'aide de l'eau distillé jusqu'à pH neutre,



**Figure II.17:** Filtration du charbon actif magnétique (CAM).

Un test de fin de lavage a été effectué en utilisant une solution de  $\text{AgNO}_3$  de concentration 0,1 molaire afin de détecter des traces de chlore.



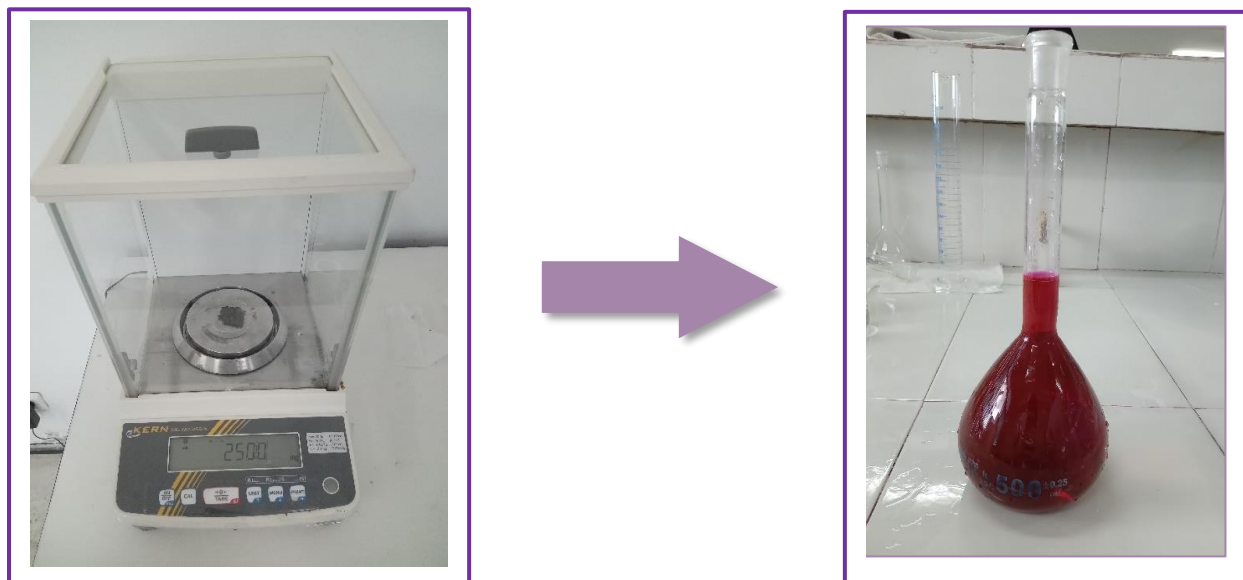
**Figure II.18:** Test de fin lavage par la solution  $\text{AgNO}_3$ .

Enfin, le matériau récupéré est séché dans une étuve à  $80^\circ\text{C}$  pendant 24 heures puis conservé hermétiquement à l'abri de la lumière et de l'humidité, en le stockant dans un dessiccateur.

## II.5 Préparation des adsorbats

### II.5.1 Préparation de la solution mère

Pour préparer une solution mère de Rhodamine B (500mg/l) une masse de 250 mg Rhodamine B a été pesée avec précision et dissoute dans une fiole de 500 ml. Ensuite, on complète la fiole avec de l'eau distillé jusqu'au trait de jauge.



**Figure II.19:** Préparation de la solution mère.

### II.5.2 Préparation des solutions filles

Les solutions filles avec des concentrations de (1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10) mg/l sont préparées par dilution de la solution mère dans des fioles jaugées de 100 ml successives, à partir de la solution mère de 500 mg/l.



Figure II.20: Préparation des solutions filles.

### II.5.3 Détermination de $\lambda_{\max}$

Pour une solution de concentration de 5 mg/l, la longueur d'onde maximale ( $\lambda_{\max}$ ) de la rhodamine B est mesurée à l'aide d'un spectrophotomètre de marque SHIMADZU modèle 1900i. Après un balayage dans le domaine du visible, on obtient une valeur de  $\lambda_{\max}$  de 554 nm.

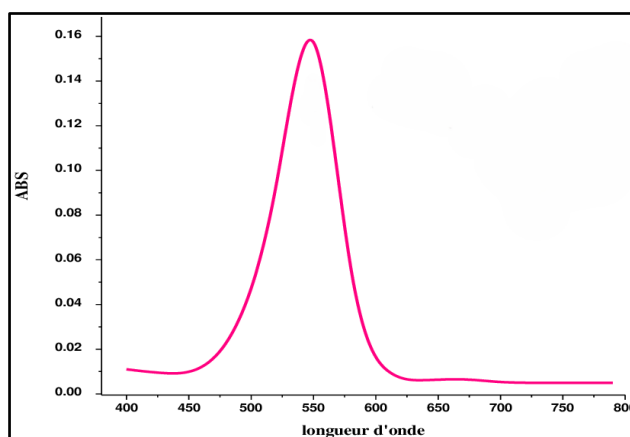


Figure II.21: Spectre UV-visible du RhB, à 5 mg/L.

### II.5.4 Traçage des courbes d'étalonnages

Pour déterminer l'absorbance optique des solutions filles à  $\lambda_{\max} = 554$  nm, nous avons utilisé le spectrophotomètre UV-Visible afin d'établir la courbe d'étalonnage de l'absorbance en fonction de la concentration en Rhodamine B.

Tableau II.2: Données de la courbe d'étalonnage de RhB.

$C_0$ (mg/l)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Abs	0,237	0,467	0,699	0,928	1,125	1,366	1,572	1,787	2,026	2,218

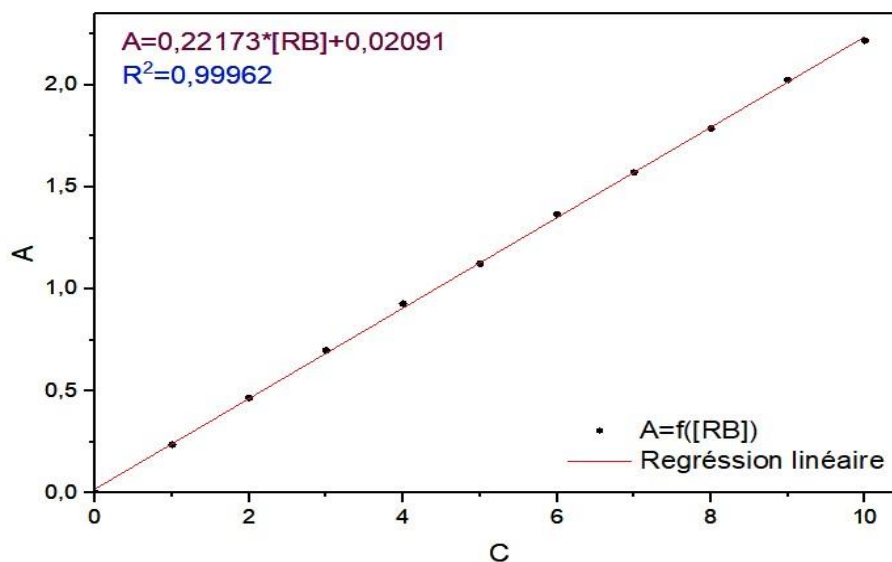


Figure II.22: Courbe d'étalonnage du Rhodamine B.

On constate que la courbe est une droite avec un coefficient de corrélation égal à 0,99962, ce qui indique un ajustement linéaire satisfaisant. Nous utilisons donc l'équation  $Abs = 0,22173C_e$  pour déterminer la concentration en Rhodamine B d'une solution donnée, où Abs représente l'absorbance et  $C_e$  représente la concentration en RhB.

## II.6 Caractérisation de charbon actif

### II.6.1 Détermination du pH de point de charge nulle ( $pH_{PZC}$ ) des adsorbants

Le  $pH_{PZC}$  est défini comme le pH pour lequel il y a absence de charge positive ou négative à la surface de l'adsorbant magnétique. Pour le déterminer, 1000 ml d'une solution de NaCl (0,1 M) sont placés dans des flacons à bouchons. Le pH est ajusté de 2 à 10 en ajoutant du NaOH ou de l'acide chlorhydrique concentré. Ensuite, 30 mg de l'adsorbant sont ajoutés aux solutions de NaCl. Après 24 heures d'agitation, le pH final est mesuré. En traçant le pH final en fonction du pH initial, le point d'intersection avec la ligne où le pH final est égal au pH initial correspond au  $pH_{PZC}$  de l'adsorbant. C'est la valeur de pH pour laquelle la charge nette de la surface de l'adsorbant magnétique est nulle.

## II.6.2 Spectroscopie Infrarouge à Transformé de Fourier (IRTF)

La spectroscopie infrarouge est une méthode d'analyse structurale qui identifie les groupes fonctionnels des liaisons entre atomes dans une molécule. Le principe de cette méthode consiste à mesurer la quantité de lumière absorbée par un matériau ou une substance en fonction de la longueur d'onde lors d'une interaction entre ce dernier et la radiation électromagnétique[8]. Cette technique est également utilisée comme méthode d'étude de la structure des adsorbants charbon actif, permettant ainsi l'identification des groupes fonctionnels présents. L'analyse se base sur la position des bandes de certains groupements caractéristiques[9], tels que les liaisons C-H, C-O, C=O et les groupes aromatiques, dans Les échantillons de charbon actif (conventionnel ou magnétique).

**La région infrarouge se subdivise en trois parties[8] :**

- ✚ le proche IR ( $12500 \text{ cm}^{-1} - 4000 \text{ cm}^{-1}$ ).
- ✚ le moyen IR ( $4000 \text{ cm}^{-1} - 400 \text{ cm}^{-1}$ ).
- ✚ l'IR lointain ( $400 \text{ cm}^{-1} - 10 \text{ cm}^{-1}$ ).

Chacune de ses trois parties nécessite l'usage de sources, systèmes de détection et diviseurs de faisceaux spécifiques.

Les vibrations fondamentales des molécules sont principalement situées dans la région de  $6000 \text{ cm}^{-1}$  à  $80 \text{ cm}^{-1}$ . Cette région sera particulièrement analysée dans ce travail.

## II.7 Étude de l'adsorption du Rhodamine B

### II.7.1 Influence des conditions opératoires sur l'adsorption du RhB par les charbon actifs (CAC&CAM)

L'adsorption des polluants organiques sur un adsorbant dépend de divers facteurs tels que le temps de contact, la dose, le pH et la température, ainsi que la présence de NaCl. Dans notre étude actuelle, nous avons examiné l'influence de ces facteurs sur l'adsorption de la Rhodamine B par du charbon actif et du charbon actif magnétique précédemment préparés. Cette étude a été menée en mode discontinu (système batch), ce qui nous a permis d'évaluer comment ces paramètres affectent l'efficacité d'adsorption des adsorbants.

La quantité adsorbée à l'équilibre  $Q_e$  (mg) par unité de masse d'adsorbant(g) et les rendements est donnée par la relation suivante:

$$Q_e = \frac{C_0 - C_e}{m} \times V \quad (\text{II.3})$$

Avec:

$C_0$  : Concentration initiale de colorant (mg/L).

$C_e$  : Concentration de colorant à l'équilibre(mg/L).

$V$  : Volume de la solution (L).

$m$  : Quantité d'adsorbant (g).

$$R\% = \frac{C_0 - C_e}{C_0} \times 100 \quad (\text{II.4})$$

Avec:

$R$  : le rendement d'adsorption %.

$C_0$  : Concentration initiale de colorant (mg/L).

$C_e$  : Concentration de colorant à l'équilibre(mg/L).

### II.7.1.1 Effet du pH

Le pH joue un rôle important dans le processus d'adsorption. Beaucoup d'études ont montré que le pH est un facteur important pour la détermination du potentiel d'adsorption des composés organiques cationiques et anioniques[10].

Donc, il est crucial de déterminer le pH qui favorise l'adsorption de la Rhodamine B sur notre charbon. Dans cette expérience, nous avons suivi l'effet du pH à différentes valeurs (2, 3, 4, 6, 8, 9, 11) avec une concentration de 100 mg/L et à température ambiante. Les valeurs de pH ont été ajustées à l'aide de solutions de NaOH et d'HCl (0.01, 0.1, 0.5 M). Ensuite, nous avons ajouté une quantité de 30 mg de charbon actif (CAC & CAM) à chaque solution de 30 ml (rapport 1:1) et les avons agitées pendant une durée prédéfinie de 4 heures pour la RhB.

Enfin, le pH doit être mesuré à la fin de l'expérience. Cela nous permettra de comprendre comment le pH initial a influencé le processus d'adsorption de la Rhodamine B sur notre charbon actif.

### II.7.1.2 Effet de la dose

Les propriétés de l'adsorption dépendent de la dose du charbon actif magnétique, car elle permet de déterminer le degré d'adsorption et le coût du charbon actif magnétique par unité de solution traitée. Pour étudier l'influence de la dose de l'adsorbant sur le taux d'élimination du colorant, nous avons suivi les étapes suivantes : une quantité de 30 mg de charbon actif CAC a été

mélangée et agitée avec une solution de Rhodamine B à une concentration de 100 mg/L, avec différentes doses (0.5, 0.6, 0.75, 1, 1.5, 3) g/L de solution de Rhodamine B, pendant une durée fixée de 4 heures.

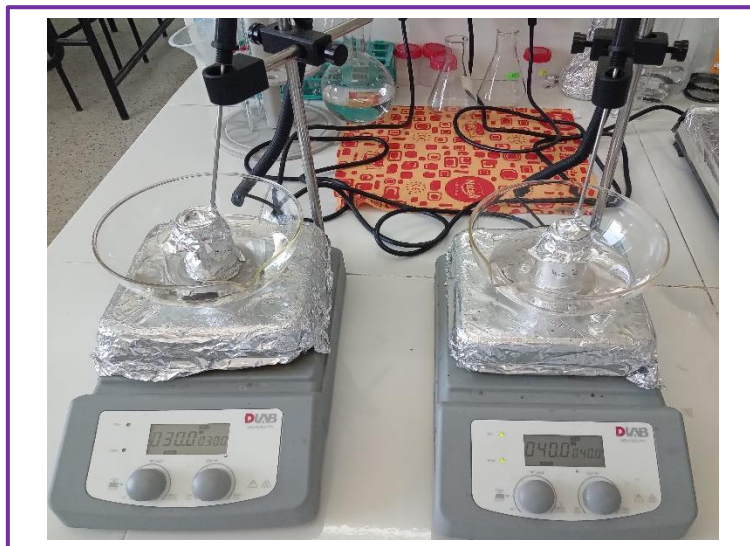
### **II.7.1.3 Cinétique d'adsorption en fonction du temps de contact**

Pour étudier l'effet du temps de contact sur l'adsorption de la Rhodamine B sur le charbon actif préparé, nous avons procédé en mettant en contact des solutions de 20 ml pour le CAC et 30 ml pour le CAM, avec une concentration initiale d'adsorbat de 50 mg/l, avec le charbon actif pendant des intervalles de temps variés (5, 15, 30, 60, 120, 180 et 240 minutes). Cette opération a été réalisée à pH=3,55, à une température de 25 °C, sous une vitesse d'agitation de 340 tr/min.

### **II.7.1.4 Etude de l'effet de la température sur l'adsorption**

Dans la nature, les phénomènes d'adsorption sont généralement exothermiques. De ce fait, on peut admettre qu'une augmentation de la température affecte beaucoup plus l'adsorption physique que chimique. De nombreuses études de l'influence de la température sur l'adsorption ont été réalisées[11]. Ces études ont montré que la relation entre la température et l'adsorption dépend essentiellement du couple adsorbant/adsorbat.

Afin d'étudier l'influence de la température sur l'adsorption de la Rhodamine B par l'adsorbant étudié, des flacons contenant 20 mL pour le CAC et 30 ml pour le CAM de solution de concentration 100 mg/l ont été préparés. Ces solutions ont été plongées dans un bain-marie et la température a été contrôlée à l'aide d'un thermostat réglé successivement à différentes températures (25, 30, 40 et 50 °C), en utilisant un thermomètre pour maintenir une température constante pendant toute l'expérience. Ensuite, une quantité de 30 mg de charbon actif (CAC & CAM) a été ajoutée à la solution, en utilisant une vitesse d'agitation égale à 340 tr/min. L'ensemble a été agité pendant un temps prédéterminé (4 heures), puis filtré et analysé par spectrophotométrie.



**Figure II.23:** L'effet de la température.

#### **II.7.1.5 Effet des sels (NaCl)**

Afin d'étudier l'influence des sels sur l'adsorption de la Rhodamine B par l'adsorbant étudié, des solutions de RhB avec un volume de 20 ml et une concentration de 100 mg/l ont été préparées. Ensuite, différentes concentrations de NaCl (5 g/l, 20 g/l, 30 g/l) ont été ajoutées à ces solutions. Les solutions contenant les sels ont été agitées et mélangées avec une quantité de 30 mg de charbon actif pendant une durée de 4 heures. L'ajout des sels vise à explorer leur incidence sur le processus d'adsorption des colorants. Leur présence peut modifier les interactions entre les molécules de colorant et le matériau adsorbant, ce qui pourrait potentiellement altérer l'efficacité globale de l'adsorption.



### Les références du chapitre II

- [1] J. Tom, " UV-Vis Spectroscopy: Principle, Strengths and Limitations and Applications Article Published: June 30, 2021".
- [2] L. Diez, M.-H. Livertoux, A.-A. Stark, M. Wellman-Rousseau, et P. Leroy, " High-performance liquid chromatographic assay of hydroxyl free radical using salicylic acid hydroxylation during in vitro experiments involving thiols ", *Journal of Chromatography B: Biomedical Sciences and Applications*, vol. 763, n° 1-2, p. 185-193, 2001.
- [3] BOUTAREG Khadidja ERROUKRMA Fatiha, " Préparation d'un charbon actif à partir de déchets synthétique (pneu) et application dans l'adsorption du phénol ", *Mémoire de master, UNIVERSITÉ de BLIDA 1 Faculté des Sciences*, 2018.
- [4] S. Helali, " Application de la photocatalyse pour la dégradation des polluants chimiques et bactériologiques dans l'eau en utilisant des catalyseurs irradiés par des photons de lumière naturelle ou artificielle (UV-A/UV-B) ", *PhD Thesis, Université Claude Bernard-Lyon I*, 2012.
- [5] ALLAM Malak Dorsaf et BOUGHERARA Safia, " Préparation et caractérisation de charbons magnétiques appliqués à l'élimination de l'ibuprofène de l'eau par adsorption ", *Mémoire de master, Université Salah Boubnider Constantine 3*, 2022.
- [6] R. Chanez et MEZHOUUD Sara, " Elimination de bleu de méthylène par adsorption sur un matériau naturel ", *Diplôme de Master, Université A. MIRA - Bejaïa Faculté des Sciences Exactes*, 2022.
- [7] E. Möller et al., " Peat-Derived ZnCl<sub>2</sub>-Activated Ultramicroporous Carbon Materials for Hydrogen Adsorption ", *Nanomaterials*, vol. 13, n° 21, p. 2883, 2023.
- [8] RABEHI Chanez et MEZHOUUD Sara, " Elimination de bleu de méthylène par adsorption sur un matériau naturel ", *Mémoire de Master, Université A. MIRA - Bejaïa*, 2022.
- [9] CHOUMANE Ahmed et MAHSAR Wahiba, " Etude de l'élimination de la rhodamine b par adsorption sur la bentonite brute et traitée ", *Mémoire de Master, Université Dr. Moulay Tahar-SAIDA*, 2014.
- [10] H. Hindarso, S. Ismadji, F. Wicaksana, Mudjijati, et N. Indraswati, " Adsorption of Benzene and Toluene from Aqueous Solution onto Granular Activated Carbon ", *J. Chem. Eng. Data*, vol. 46, n° 4, p. 788-791, juill. 2001, doi: 10.1021/je000176g.

- [11] I. A. W. Tan, A. L. Ahmad, et B. H. Hameed, " Adsorption of basic dye on high-surface-area activated carbon prepared from coconut husk: Equilibrium, kinetic and thermodynamic studies ", *Journal of hazardous materials*, vol. 154, n° 1-3, p. 337-346, 2008.

*Chapitre III :*  
*Résultats et discussions*

## Chapitre III

### Résultats et discussions

#### III.1 Introduction

Dans ce chapitre, nous commençons par décrire les propriétés physico-chimiques de nos deux adsorbants : le charbon actif conventionnel (CAC) et le charbon actif magnétique (CAM). Nous présentons ensuite les résultats des essais d'adsorption du polluant Rhodamine B (RhB) sur ces deux charbons.

Notre objectif principal est d'évaluer l'effet de la magnétisation sur les capacités adsorbantes du CAM en les comparant à celles du CAC. Pour ce faire, nous avons cherché à déterminer la méthode la plus efficace pour éliminer la Rhodamine B avec les deux adsorbants. Nous avons donc optimisé les principaux paramètres du processus d'adsorption dans le système charbon/RhB, notamment la dose, le pH, la température et l'effet du NaCl.

#### III.2 Caractérisation des adsorbants

##### III.2.1 Confirmation de l'effet magnétique des adsorbants

L'effet magnétique de l'adsorbant magnétique préparé dans cette étude (CAM) a été démontré en appliquant un champ magnétique externe à l'aide d'un aimant naturel. La nature magnétique de l'adsorbant est clairement visible, comme le montre la figure ci-dessous.



**Figure III.1:** L'effet magnétique du CAM.



Figure III.2: Effet magnétique du CAM après adsorption.

### III.2.2 pH de Point de Charge Zéro (pHpzc)

Le pH<sub>pzc</sub> correspond à la valeur de pH pour laquelle la charge nette de la surface de l'adsorbant est nulle. Les résultats sont présentés graphiquement sur la figure III.3.

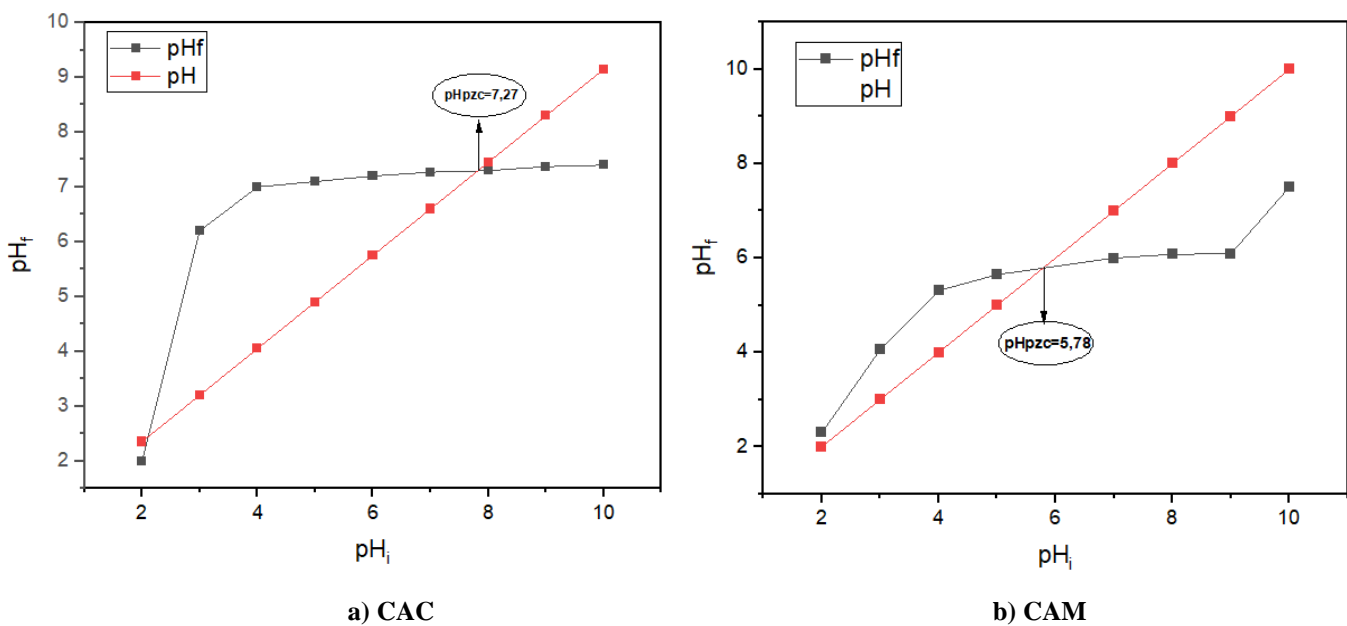


Figure III.3 : Évolution du pH final en fonction du pH initial (Conditions: 0.1M NaCl, V=30ml, m =30 mg) a) CAC, b)CAM

Lorsque le pH du soluté est inférieur au pH<sub>pzc</sub> ( $\text{pH} < \text{pHpzc}$ ), la surface du matériau est chargée positivement. En revanche, lorsque le pH du soluté est supérieur au pH<sub>pzc</sub> ( $\text{pH} > \text{pHpzc}$ ), la surface est chargée négativement. Les valeurs de pH<sub>pzc</sub> obtenues nous indiquent si l'adsorption est favorisée ou non, dans les conditions de pH étudiées.

Si la substance à éliminer est chargée positivement, un pH du soluté inférieur au  $pH_{pzc}$  entraînera une répulsion, ce qui diminuera la capacité d'adsorption. À l'inverse, un pH du soluté supérieur au  $pH_{pzc}$  provoquera une attraction, augmentant ainsi la capacité d'adsorption. Si la substance à éliminer est chargée négativement, les effets seront inversés [1,2].

La figure III.3 illustre graphiquement l'évolution du pH final, après l'ajout de deux adsorbants, en fonction du pH initial prédéfini. L'intersection de la courbe résultante avec la bissectrice indique le  $pH_{pzc}$  du matériau. Pour le charbon actif conventionnel (CAC), le  $pH_{pzc}$  est de **7,27**, tandis que pour le charbon actif magnétique (CAM), obtenu par magnétisation du CAC, le  $pH_{pzc}$  est de **5,78**. Ces résultats peuvent s'expliquer par plusieurs facteurs : la magnétisation du CAC entraîne des changements chimiques sur la surface, notamment par l'introduction de groupes hydroxyles et d'oxydes métalliques qui abaissent le  $pH_{pzc}$  [3]. Enfin, les oxydes de fer présents dans le CAM influencent significativement la charge de surface à différents pH et jouent un rôle clé dans la réduction du  $pH_{pzc}$  [4].

### III.2.3 Spectroscopie Infrarouge (IRTF)

#### III.2.3.1 Interprétation du spectre IRTF du CAC

La figure III.4 présente le spectre d'absorption IRTF du charbon actif conventionnel. L'examen de ce spectre permet d'identifier et d'attribuer les bandes suivantes :

- Bande à  $3789\text{ cm}^{-1}$ : Correspond typiquement à des vibrations O-H liées aux groupes hydroxyles.
- Bande à  $3640\text{ cm}^{-1}$ : Peut être attribuée aux liaisons O-H des acides phénoliques.
- Bandes vers  $2653$  et  $2414\text{ cm}^{-1}$ : Ces bandes peuvent indiquer la présence de groupements  $\text{CH}_2$  ou  $\text{CH}_3$ , typiques des structures aliphatiques.
- Bande à  $1552\text{ cm}^{-1}$ : Associée aux vibrations de déformation N-H et aux liaisons  $\text{C}=\text{O}$  des groupes amides, indiquant la présence de composants azotés.
- Bandes vers  $1027$  et  $870\text{ cm}^{-1}$ : Suggèrent des vibrations de groupes C-O, caractéristiques des éthers.

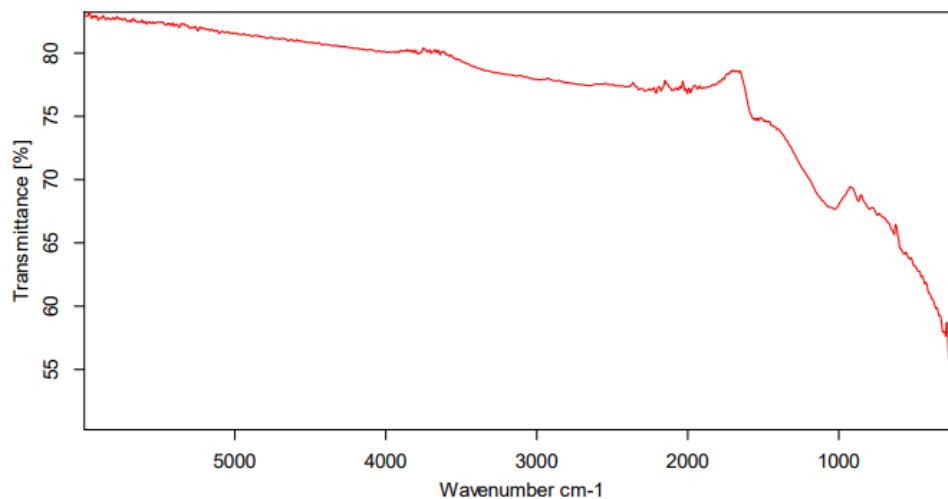
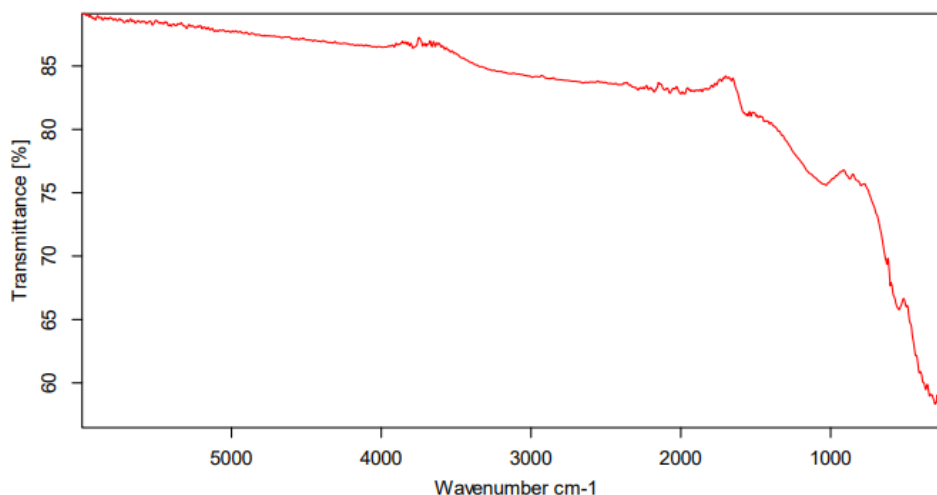


Figure III.4: Spectres IRTF du charbon actif conventionnel " CAC ".

### III.2.3.2 Interprétation du spectre IRTF du CAM

Le spectre d'absorption IRTF du charbon actif magnétique est illustré dans la figure III.5. L'analyse de ce spectre permet d'assigner les bandes de la manière suivante :

- Bande à  $3789\text{ cm}^{-1}$  : Similaire au CAC , indiquant la préservation des groupes hydroxyles.
- Bande à  $3650\text{ cm}^{-1}$  : Légère décalage peut être dû à l'interaction des groupes hydroxyles avec des sites magnétiques.
- Bande à  $2285\text{ cm}^{-1}$  : Potentiellement due à des groupes isocyanate, qui pourraient être introduits durant la magnétisation.
- Bande à  $1728\text{ cm}^{-1}$  : Indique des vibrations C=O, possiblement des groupes cétone ou quinone, affectés par la magnétisation.
- Bandes basses fréquences à  $624$  et  $542\text{ cm}^{-1}$  : Ces bandes pourraient correspondre à des vibrations de métaux et à des interactions magnétiques.



**Figure III.5:** Spectres IRTF du charbon actif magnétique "CAM".

### III.2.3.3 Comparaison et Interprétation

La magnétisation semble influencer surtout les bandes de basse fréquence, ce qui peut être dû à des interactions entre les sites magnétiques et les groupes fonctionnels du charbon. Les bandes associées aux fonctions hydroxyles, et phénoliques restent relativement stables, indiquant que la structure de base du charbon n'est pas extrêmement altérée. Toutefois, l'apparition de nouvelles bandes dans le spectre du CAM suggère des modifications chimiques liées au processus de magnétisation, comme l'introduction de groupes fonctionnels additionnels ou la modification de certains groupes existants[5,6].

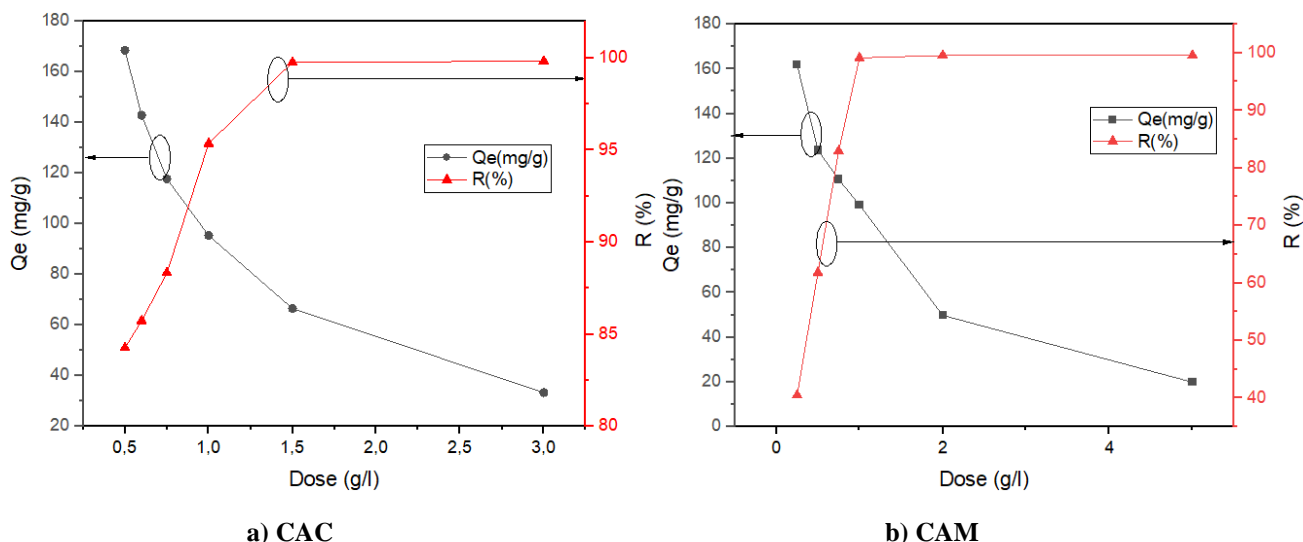
## III.3 Etude paramétrique

Dans cette partie, nous présentons les résultats d'une étude visant à évaluer la capacité d'adsorption du charbon actif conventionnelle (CAC) et du charbon actif magnétique (CAM) en utilisant le colorant synthétique Rhodamine B (RhB) comme polluant.

### III.3.1 Effet de la dose (dose optimale)

L'influence de la dose sur le taux d'élimination du Rhodamine B est illustrée sur la figure (III.6) suivant.





**Figure III.6:** Capacité d'adsorption du Rh B en fonction de la dose du CA, (Conditions :  $C_0=100\text{mg/l}$ ,  $\text{pH} = 3.55$ ,  $v = 340 \text{ tr/min}$   $T = \text{ambiante}$ ,  $\text{temps} = 4\text{h}$ ). a) CAC, b)CAM.

Nous observons que la quantité adsorbée augmente avec l'augmentation de la dose. Au-delà de **1,5 g/L** pour le **CAC** et de **1 g/L** pour le **CAM**, le taux d'élimination reste pratiquement constant.

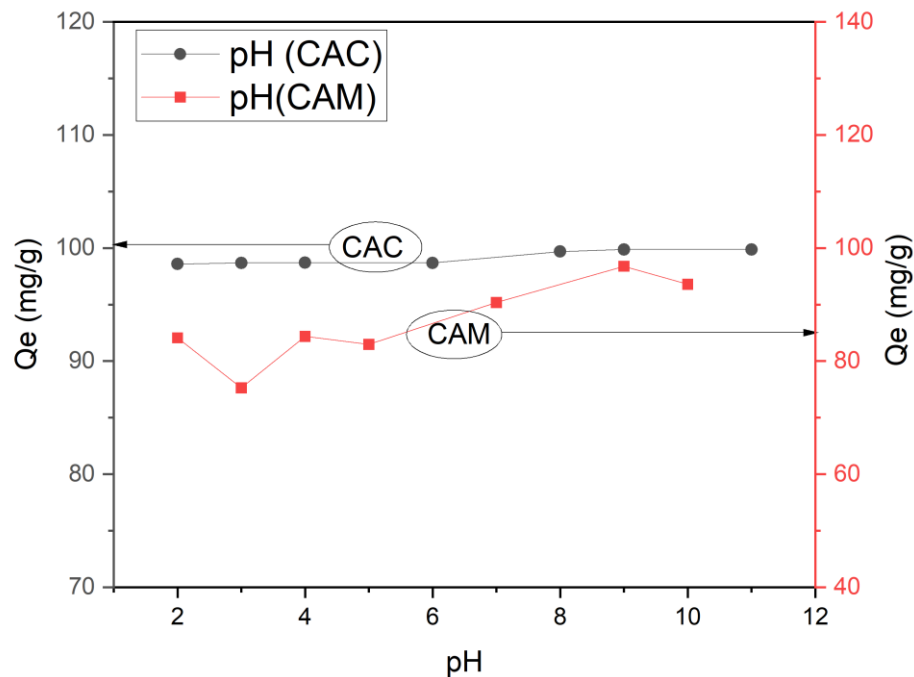
Cette amélioration peut s'expliquer par une adsorption développée lorsque la quantité d'adsorbant diminue. La quantité d'adsorbant a un effet significatif sur l'adsorption jusqu'à ce que les sites d'adsorption disponibles soient saturés. Au-delà de ce point, l'ajout supplémentaire d'adsorbant n'augmente pas l'adsorption.

Pour le reste des travaux, nous allons prendre une dose optimale de **1,5 g/L** pour le **CAC** et de **1 g/L** pour le **CAM**.

### III.3.2 Effet du pH

Le pH est un facteur important dans toute étude d'adsorption car il peut influencer la structure de l'adsorbant et de l'adsorbant ainsi que le mécanisme d'adsorption. Nous avons donc étudié l'efficacité d'adsorption à différents pH (2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9 et 10), en maintenant constants tous les autres paramètres.

Les résultats d'adsorption du RhB en fonction du pH sont représentés dans la figure III.7.



**Figure III.7 :** Effet du pH sur l'adsorption de RhB par (CAC, CAM), Conditions :  $C_0=100\text{mg/l}$ ,  $r=1\text{g/L}$   $v=340\text{tr/min}$   $T=\text{ambiante}$ , temps = 4h).

- **CAC**

La figure montre que la capacité d'adsorption augmente avec l'augmentation du pH pour le charbon actif commercial (CAC), jusqu'à atteindre une valeur de pH optimale. Nous avons trouvé un pH optimal de 9 avec un rendement de 99,86%. Cela peut s'expliquer par le point de charge zéro ( $\text{pH}_{\text{pzc}}$ ). Le  $\text{pH}_{\text{pzc}}$  du CAC a été estimé à 7,28. Ainsi, la surface du charbon se charge positivement à un pH inférieur à 7,28 et négativement à un pH supérieur à 7,28.

On remarque que lorsque le pH de la solution est supérieur au  $\text{pH}_{\text{pzc}}$  ( $\text{pH}_{\text{pzc}} = 7,28$ ), la surface du CAC est chargée négativement. Les molécules de colorant cationiques (RhB) en solution sont chargées positivement [7], ce qui entraîne une attraction entre elles. Ces interactions augmentent avec l'augmentation du pH car la surface de l'adsorbant devient de plus en plus négative lorsque la solution devient de plus en plus basique, ce qui explique l'augmentation de la capacité d'adsorption.

- **CAM**

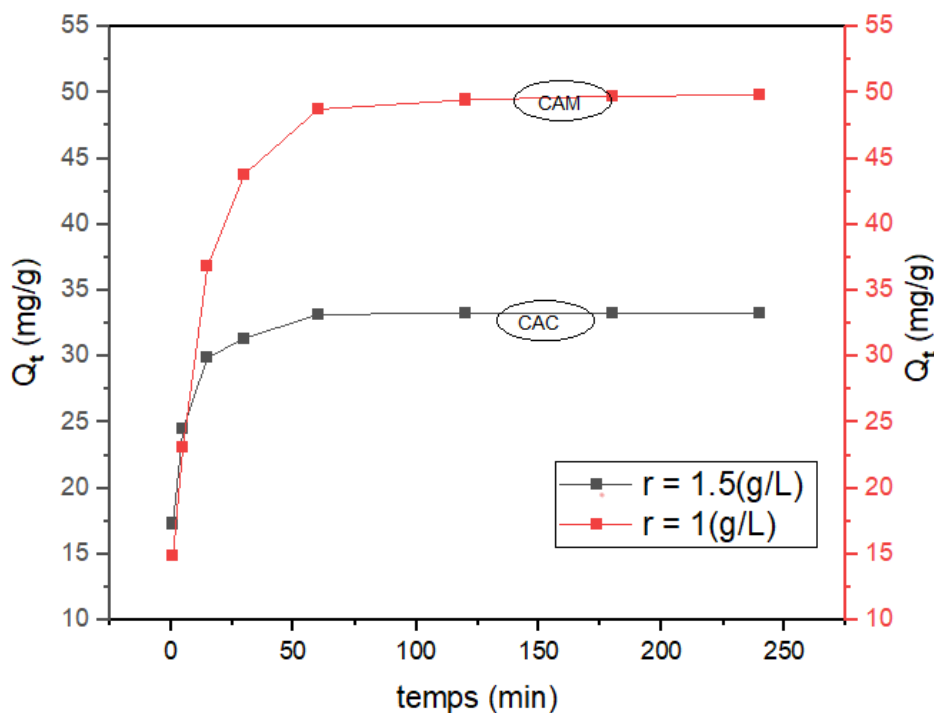
Nous pouvons voir que, pour le CAM, les meilleurs taux d'élimination de ce polluant sont généralement obtenus à des pH acides et basiques, avec un taux d'élimination maximal atteint à un pH de 9, correspondant à un rendement de 96,77 %. Une augmentation de l'efficacité est

observée pour des pH allant de 3 à 7. Ensuite, on remarque une légère diminution de l'efficacité avec l'augmentation du pH de 3 et 10.

Des observations comparables ont également été notées dans d'autres études[8].

### III.3.3 Effet du temps de contact

Les résultats des cinétiques d'adsorption du RhB sur le CAC et le CAM pour la concentration étudiée (50 mg/L) sont représentés sur la figure III.8 suivant.



**Figure III. 8 :** Effet du temps de contact sur l'élimination de RhB par le CAC et CAM, Conditions :  $C_0=50\text{mg/l}$ ,  $\text{pH}= 3.55$ ,  $v =340 \text{ tr/min}$   $T=\text{ambiante}$ , temps = 4h).

D'après les courbes obtenues, on constate que le taux d'élimination et la capacité d'adsorption augmentent avec le temps jusqu'à atteindre un palier de saturation où ils ne changent plus. Après 1 heure, avec un taux de  $R = 99,51 \%$  pour le charbon actif commercial (CAC) et de  $R = 97,46\%$  pour le charbon actif modifié (CAM), on observe une stabilisation de la quantité adsorbée.

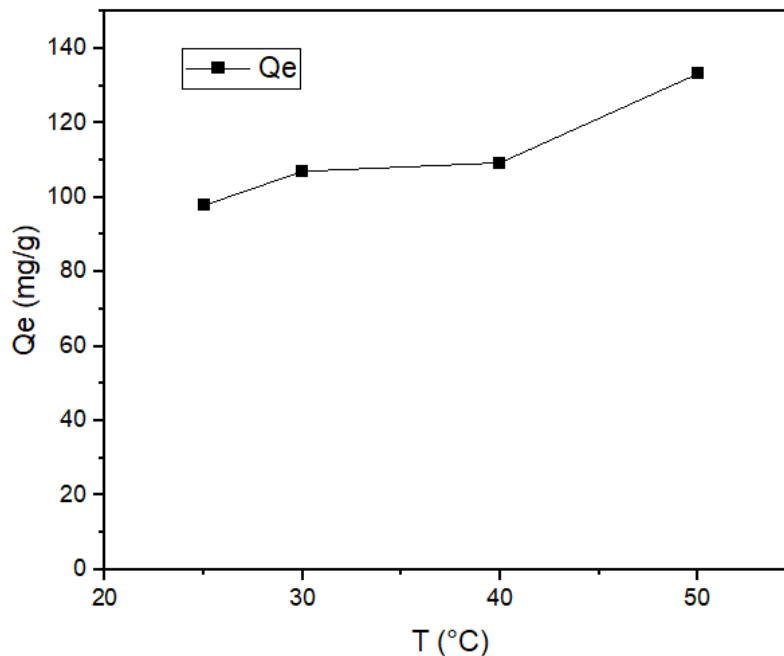
Cela indique que la surface du charbon est saturée et que l'interaction entre l'adsorbant et l'adsorbat a atteint l'équilibre. On remarque que le temps d'équilibre, ou le temps de saturation, est de 60 minutes. D'autres études ont également mis en évidence des résultats analogues[9].

### III.3.4 Effet de la température

La température a un effet majeur sur le processus d'adsorption, son augmentation favorise la diffusion des molécules à travers la couche limite externe et les pores internes des particules de l'adsorbant[10].

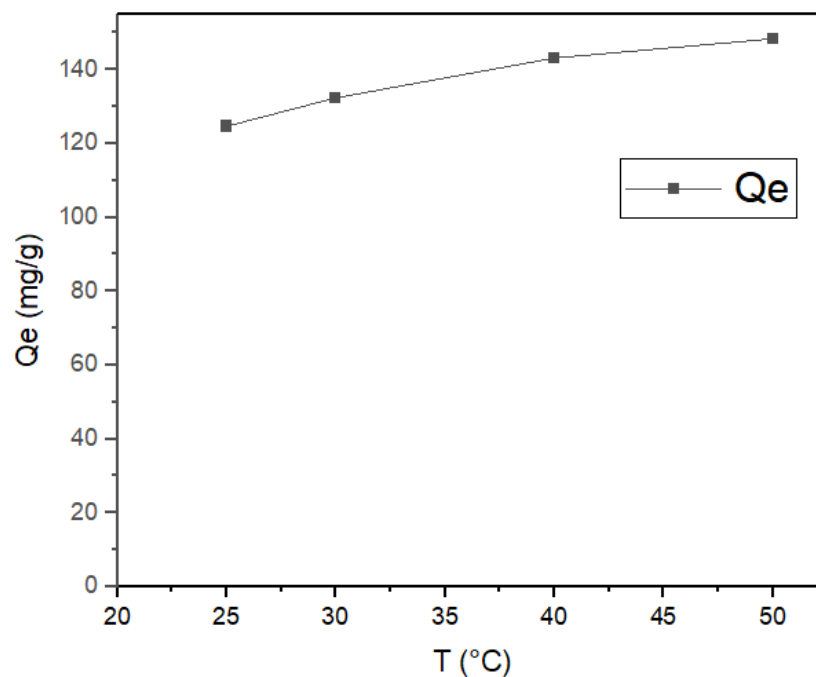
Les résultats d'adsorption de ces composés en fonction de la température sont représentés graphiquement sur la figure (III.9 et III.10).

- CAC



**Figure III.9:** Effet de la température sur l'adsorption de RhB par CAC, Conditions :  $C_0=200\text{mg/l}$ ,  $\text{pH}_{\text{Naturel}} \approx 3.53$ ,  $r=1.5\text{g/L}$ ,  $v = 340 \text{ tr/min}$ .

- CAM



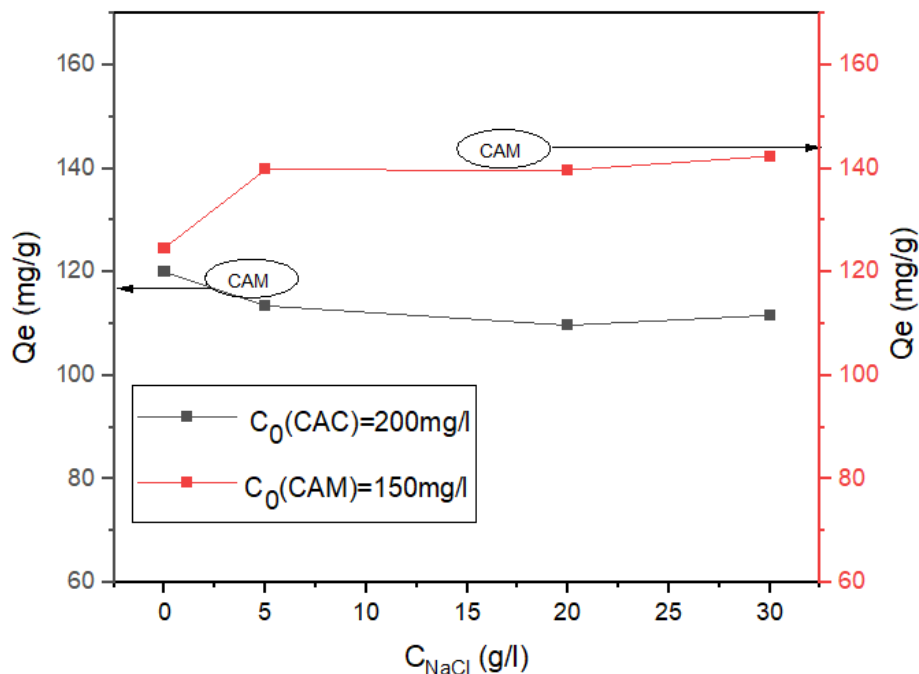
**Figure III.10 :** Effet de la température sur l'adsorption de RhB par CAM, Conditions :  $C_0=150\text{mg/l}$ ,  $\text{pH}_{\text{Naturel}} \approx 3.53$ ,  $r=1\text{g/L}$ ,  $V = 340 \text{ tr/min}$ .

D'après les courbes obtenues, on constate l'augmentation de la capacité d'adsorption dans l'intervalle de température de 25 à 50°C, signifie que le processus d'adsorption d'adsorbat sur l'adsorbant est endothermique.

Cela peut être dû à l'augmentation de la mobilité des molécules de colorant en solution (chute de la viscosité) ce qui favorise sa diffusion dans le solide adsorbant et à l'augmentation du nombre de sites actifs pour l'adsorption et l'augmentation des interactions chimiques entre l'adsorbat et l'adsorbant avec l'élévation de la température[11].

### III.3.5 Effet de NaCl

Les résultats d'adsorption du RhB en fonction de de NaCl sont représentés graphiquement sur la figure (III.11 et III.12) ci-dessous.



**Figure III.11 :** Effet de NaCl sur l'adsorption de RhB par CAC et CAM,

**Conditions CAC:**  $C_0 = 200\text{mg/l}$ ,  $r=1.5\text{g/L}$ ,  $v = 340\text{ tr/min}$   $T=25^\circ\text{C}$ ,  $\text{pH}_{\text{Naturel}} \approx 3.53$ .

**Conditions CAM:**  $C_0 = 150\text{mg/l}$ ,  $r=1\text{g/L}$ ,  $\text{pH}_{\text{Naturel}} \approx 3.53$ ,  $v=340\text{ tr/min}$   $T=25^\circ\text{C}$ .

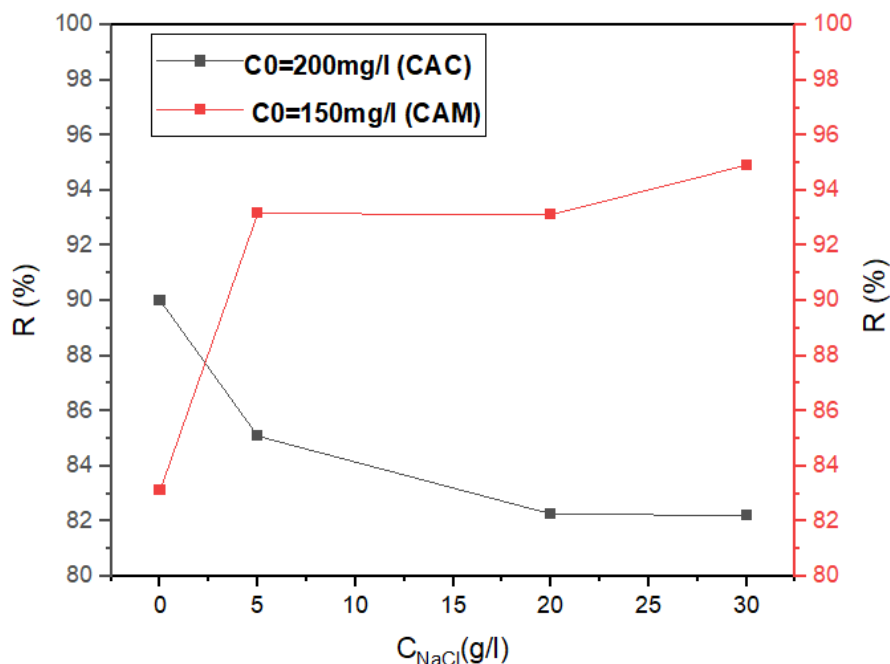


Figure III.12 : Taux d'élimination du RhB en fonction du  $C_{NaCl}$ ,

**Conditions CAC:**  $C_0 = 200$ mg/l,  $r=1.5$ g/L,  $v = 340$  tr/min  $T=25^\circ\text{C}$ ,  $\text{pH}_{\text{Naturel}} \approx 3.53$ ,

**Conditions CAM:**  $C_0 = 150$ mg/l,  $r=1$ g/L,  $\text{pH}_{\text{Naturel}} \approx 3.53$ ,  $v = 340$  tr/min  $T=25^\circ\text{C}$ .

D'après la figure III.12, il a été observé que la capacité d'adsorption du RhB par le CAC diminue avec l'ajout de sel (NaCl). L'augmentation de la concentration de ces sels défavorise le phénomène d'adsorption. Ainsi, les meilleurs résultats sont obtenus avant l'ajout des sels.

Pour le CAM, montre une augmentation de la capacité d'adsorption du RhB par CAM en fonction de l'augmentation des concentrations de sel (NaCl). Cela indique que l'effet positif des sels sur l'adsorption observée pourrait être lié à une amélioration de l'élimination du RhB. Ainsi, l'augmentation de la concentration de sels améliore la décoloration du RhB et permet une meilleure adsorption sur le CAM.

### III.3.6 Modélisation des isothermes d'adsorption du RhB

Les isothermes d'adsorption jouent un rôle crucial dans la détermination des capacités maximales d'adsorption et dans la conception des adsorbants. Il est donc indispensable, dans notre étude, de les déterminer pour notre support[10].

Afin de définir le type d'isotherme d'adsorption, nous avons représenté la quantité de colorant adsorbée à l'équilibre en fonction de la concentration de la solution à l'équilibre. L'isotherme d'adsorption obtenue est illustrée sur la figure III.13. Il s'agit d'une isotherme de type L selon la classification de Giles. Ce type d'isotherme est généralement obtenu lorsque l'affinité entre l'adsorbat et l'adsorbant est élevée à faibles concentrations. Nous observons que

la capacité d'adsorption augmente progressivement avec la concentration initiale de colorant. Les résultats d'adsorption du Rhodamine B par l'adsorbant CAC et CAM sont représentés graphiquement sur la figure (III.13, III.14).

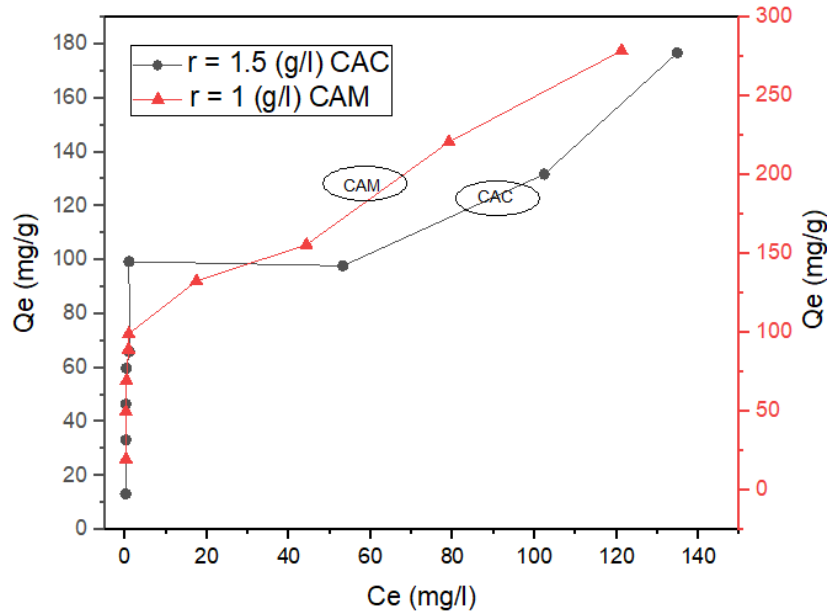


Figure III.13: Isotherme de l'adsorption du Rhodamine B sur le CAC et CAM, Conditions : pH= 3.55,  $v = 340$  tr/min T=ambiante, temps = 4h).

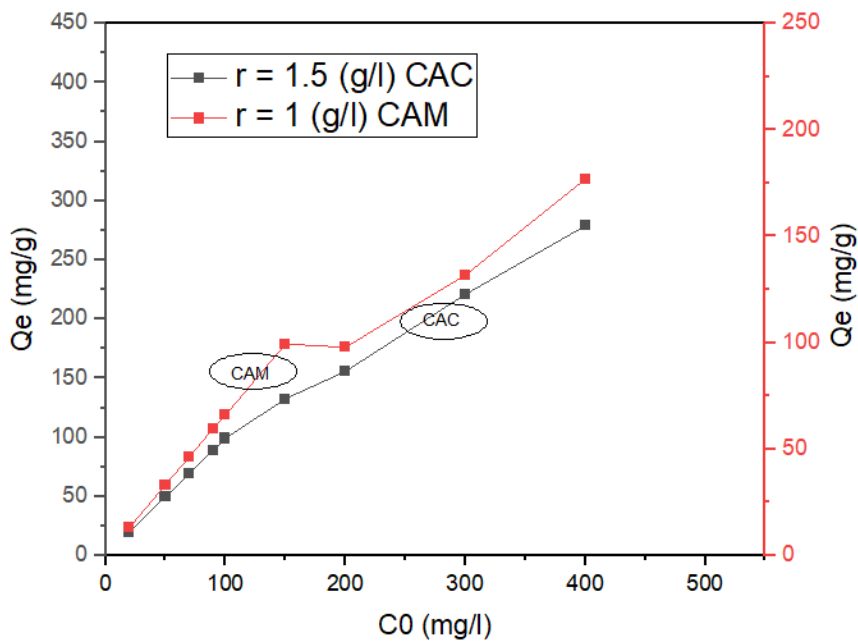


Figure III.14: Capacité d'adsorption en fonction de la concentration initiale de l'adsorbant, Conditions: (pH= 3.55,  $v = 340$  tr/min T=ambiante, temps = 4h).

Pour modéliser les isothermes obtenues, nous avons choisi le modèle de Langmuir, le modèle de Freundlich, le modèle Temkin pour évaluer les résultats d'équilibre:

**b) Le modèle de Langmuir**

L'isotherme de Langmuir assume une couverture monocouche adsorbée sur une surface homogène d'adsorbant. Graphiquement, l'isotherme de Langmuir est caractérisée par un plateau. Par conséquent, à l'équilibre, le point de saturation est atteint lorsque l'adsorption ne peut plus se produire[12]. L'adsorption se produit à des sites spécifiques sur la surface homogène de l'adsorbant. Une fois qu'une molécule de colorant occupe un site, il ne peut plus y avoir d'adsorption à cet endroit. La description mathématique linéaire de ce modèle est :

$$\frac{C_e}{Q} = \frac{1}{Q_{max}} \cdot C_e + \frac{1}{K \cdot Q_{max}} \quad (\text{III. 1})$$

Où :

$Q$  (mg/g) est la quantité de colorant adsorbé sur la phase solide à l'équilibre,

$C_e$  (mg /L) la concentration de l'adsorbé dans une solution à l'équilibre,

$Q_{max}$  (mg /g) la capacité d'adsorption correspondant à une couverture complète de la monocouche.

$k$  (L /mg) de la constante de Langmuir liée à l'énergie d'adsorption.

### c) Le Modèle de Freundlich

L'isotherme de Freundlich est une équation empirique qui décrit des systèmes hétérogènes, suggérant que les sites de liaison ne sont ni équivalents ni indépendants[12]. Ce modèle est représenté par la forme linéaire suivante :

$$\ln(Q_e) = \frac{1}{n} \cdot \ln(C_e) + \ln(K_f) \quad (\text{III. 2})$$

Où

$K_f$  et  $n$  sont des constantes de Freundlich liées à la capacité d'adsorption et de l'intensité d'adsorption de l'adsorbant, respectivement.

### d) Le Modèle de Temkin

L'application du modèle de Temkin sous sa forme linéaire, c'est –à-dire en portant  $Q_e$  en fonction de  $\ln C_e$ .

$$Q_e = \frac{RT}{b} \ln(A \cdot C_e) \quad (\text{III. 3})$$

$$Q_e = B \ln(A) + B \ln(C_e) \quad (\text{III. 4})$$

Où:

$B = \frac{RT}{b}$ , A: (Constant de Temkin).

L'application de ces modèles aux données d'équilibre issues de l'étude de l'effet de la concentration initiale nous a permis d'obtenir les profils suivantes:



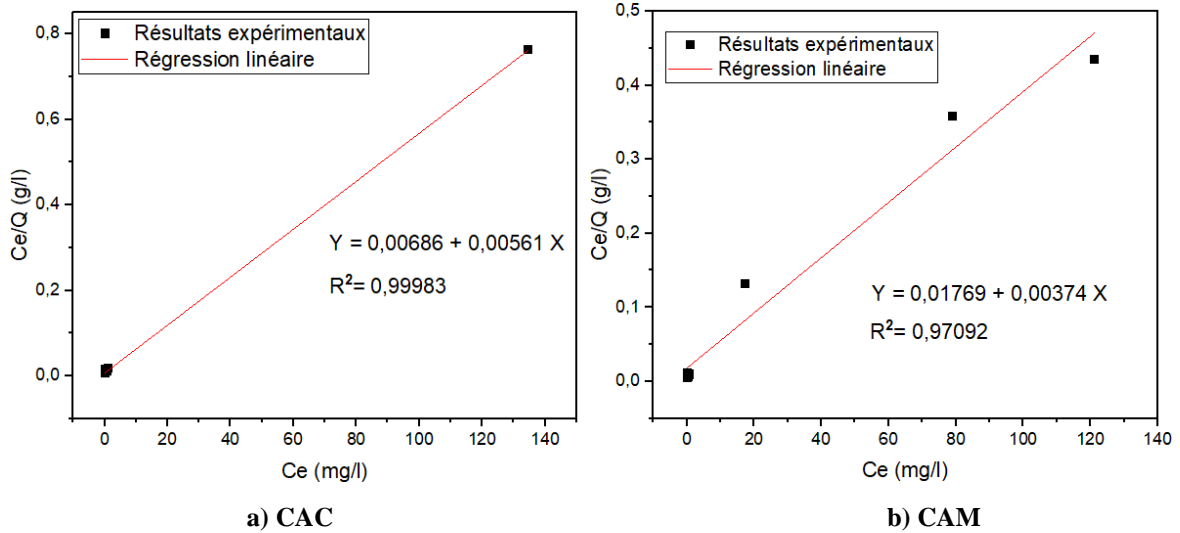


Figure III.15: Isothermes de Langmuir pour l'adsorption du Rhodamine B.

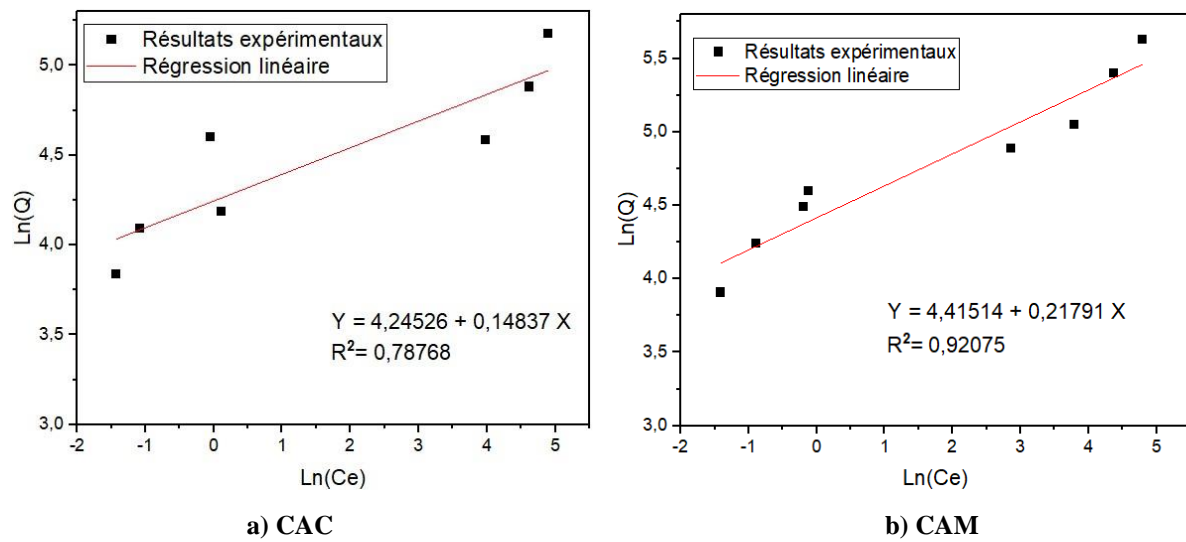


Figure III.16 : Isothermes de Freundlich pour l'adsorption du Rhodamine B.

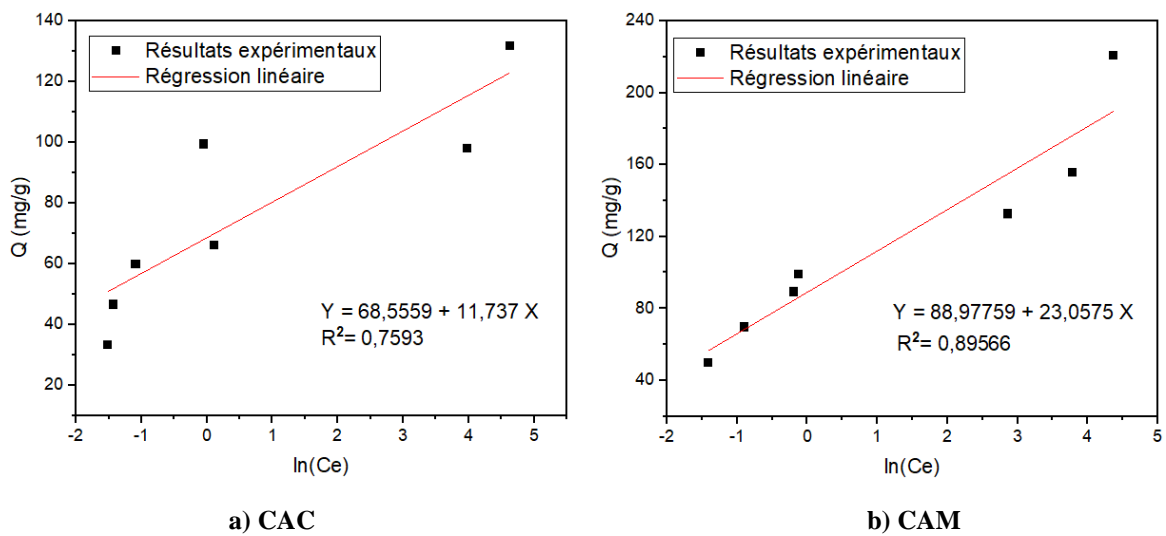


Figure III.17 : Isothermes de Temkin pour l'adsorption du Rhodamine B.

Tableau III.1: Valeurs des paramètres des isothermes Langmuir et Freundlich pour l'élimination du RhB par le

CAC et CAM.

Sachant que:

$R^2$  : le coefficient de corrélation.

Modèle	Langmuir			Freundlich		
	$Q_{\max}$ (mg/g)	K (l/mg)	$R^2$	$K_f$ (l/mg)	n	$R^2$
CAC	178.253	0,818	0,999	69.774	6.739	0,788
CAM	267.379	0,211	0,971	82.693	4.589	0.921

D'après les résultats présentés dans le tableau III.4, il est évident que l'isotherme de Langmuir décrit mieux le phénomène d'adsorption du RhB sur le CAC et le CAM, car le coefficient de corrélation  $R^2 \geq 0.97$  est supérieur à celui de l'isotherme de Freundlich. Ce modèle prévoit une adsorption en monocouche sans interaction entre les molécules adsorbées, avec des sites énergétiquement équivalents.

La capacité maximale d'adsorption, correspondant à la formation de la monocouche, a été déterminée à  $Q_{\max} = 178.253$  mg/g pour le CAC et  $Q_{\max} = 267.379$  mg/g pour le CAM.

### III.3.7 Etude cinétique d'adsorption

Le processus d'adsorption est conditionné par les propriétés physiques ou chimiques du matériau adsorbant, ainsi que par les conditions expérimentales du système. Pour étudier comment les molécules contaminantes interagissent avec une surface adsorbante dans une solution, on analyse le transfert de masse et la cinétique d'adsorption en utilisant des données expérimentales sur la durée de contact entre l'adsorbat et l'adsorbant[13].

Les études d'adsorption dépendent en grande partie des cinétiques de réaction et le temps de contact entre l'adsorbat et l'adsorbant[10]. Les modèles les plus couramment utilisés pour la modélisation des cinétiques sont : le modèle pseudo-premier ordre et le modèle pseudo-second ordre

#### III.3.7.1 Modèle de pseudo-premier ordre « PFO »

Dans ce modèle, il est supposé que la vitesse d'adsorption à un instant t est proportionnelle à la différence entre la quantité adsorbée à l'équilibre ( $Q_e$ ) et la quantité adsorbée à cet instant ( $Q_t$ ),

et que l'adsorption est réversible[14]. La constante de vitesse d'adsorption de premier ordre est calculée selon le modèle de Lagergren. Les résultats obtenus sont présentés dans la figure III.18.

$$\frac{d Q_t}{Q_T} = K_1(Q_e - Q_t) \quad (\text{III. 5})$$

Avec :

$q_e$ : quantité d'adsorbat à l'équilibre par gramme d'adsorbant (mg /g).

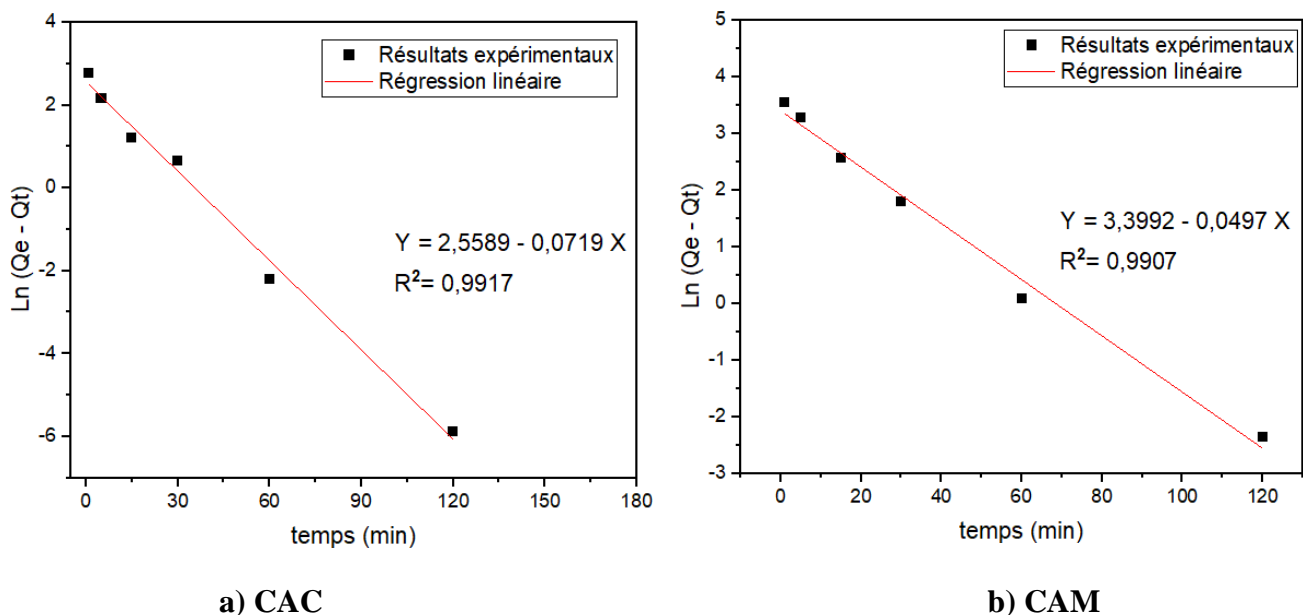
$q_t$  : Quantité adsorbée au temps  $t$  (mg/g).

$t$ : le temps de contact (min).

$K_1$ : constantes de vitesse d'adsorption pour le premier ordre ( $\text{min}^{-1}$ ).

L'intégration de l'équation (III.5) donne:

$$\ln(Q_e - Q_t) = \ln(Q_e) - K_1.t \quad (\text{III. 6})$$



**Figure III.18:** Courbe cinétique de pseudo-premier ordre pour l'élimination du Rhodamine B par le CAC, CAM. a) CAC, b)CAM.

### III.3.7.2 Modèle de pseudo-second ordre « PSO »

L'équation du pseudo-second ordre est souvent appliquée avec succès pour décrire la cinétique de l'adsorption des polluants sur un adsorbant. Ce modèle (équation III.8) permet de caractériser la cinétique d'adsorption en tenant compte à la fois de la fixation rapide des solutés sur les sites les plus réactifs et de la fixation lente sur les sites moins réactifs[15]. Les résultats obtenus sont présentés dans la figure III.19.

$$\frac{d Q_t}{Q_T} = K_2(Q_e - Q_t)^2 \quad (\text{III. 7})$$

L'intégration de l'équation (III.7) donne:

$$\frac{1}{Qt} = \frac{1}{Q_e} \cdot t + \frac{1}{K_2 \cdot Q_e^2} \tag{III. 8}$$

$K_2$ : Constante de vitesse d'adsorption pour le pseudo-second ordre (g/mg. min).

$Q_e$ : quantité d'adsorbât à l'équilibre par gramme d'adsorbant (mg/g).

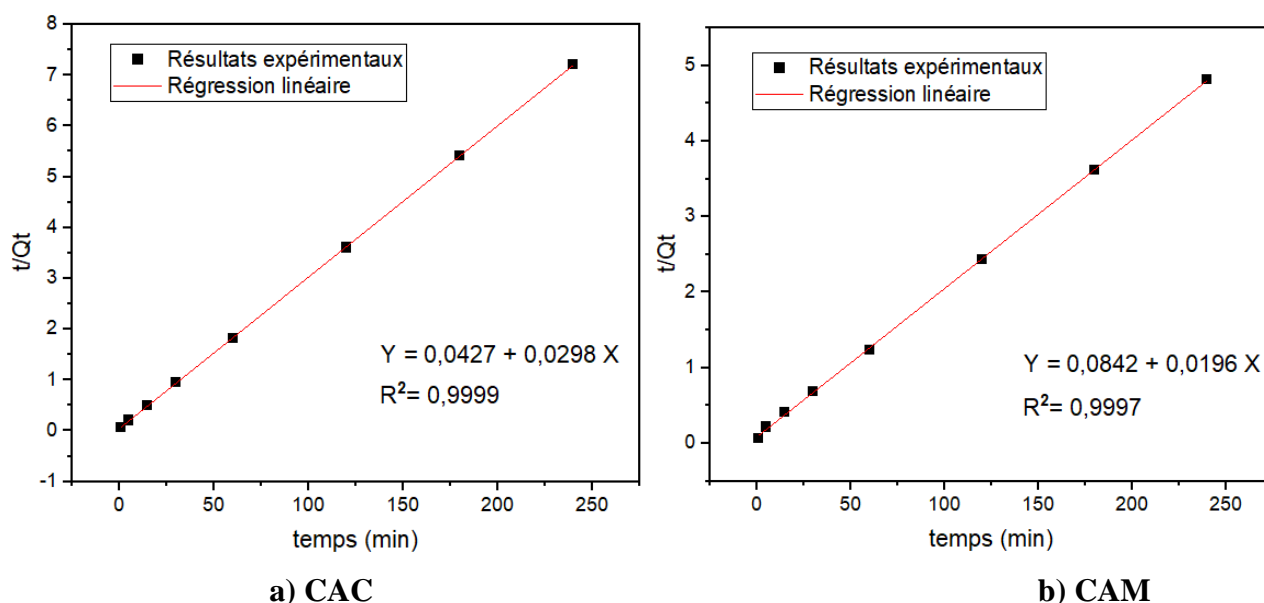


Figure III.19: Courbe de cinétique de pseudo-deuxième ordre pour l'élimination du RhB par le CAC, CAM. a) CAC, b) CAM.

Les résultats obtenus par la modélisation des différentes cinétiques d'adsorption du charbon actif con (CAC) et du charbon actif magnétique (CAM) sont résumés dans Le tableau III.5 pour concentration 50 mg/l.

Tableau III.2 : Constantes caractéristiques de la cinétique du pseudo-premier et pseudo-deuxième ordre.

$C_0$		50 mg/L						
Modèle	Pseudo-ordre 1 « PFO »				Pseudo-ordre 2 « PSO »			
	$q_{e,exp}$ (mg/g)	$q_{e,cal}$ (mg/g)	$K_1$ (min <sup>-1</sup> )	$R^2$	$q_{e,exp}$ (mg/g)	$q_{e,cal}$ (mg/g)	$K_2$ (g/mg. min)	$R^2$
CAC	33.282	12.921	0.0719	0.9917	33.282	33.557	0.021	0.9999
CAM	49,815	29.940	0.0479	0.9907	49,815	51.020	0.0045	0.9997

Les résultats montrent que les coefficients de détermination  $R^2$  dépassent 0,999 pour le modèle de pseudo-second ordre (PSO) dans le cadre de la régression linéaire. En outre, les valeurs

expérimentales de  $Q_e$  (exp) et les valeurs calculées de  $Q_e$  (cal) pour le colorant étudié sont très proches. En revanche, les valeurs calculées à partir du modèle pseudo-premier ordre (PFO) linéarisé ne correspondent pas aux valeurs expérimentales. Cela indique clairement que la cinétique d'adsorption du RhB sur le CAC et le CAM est mieux décrite par le modèle PSO, ce qui suggère une interaction forte et efficace entre le charbon actif et le RhB [16].

### Les références du chapitre III

- [1] A. A. Ahmad, B. H. Hameed, et N. Aziz, " Adsorption of direct dye on palm ash: "Kinetic and equilibrium modeling", *Journal of hazardous materials*, vol. 141, n° 1, p. 70-76, 2007.
- [2] B. H. Hameed, A. L. Ahmad, et K. N. A. Latiff, " Adsorption of basic dye (methylene blue) onto activated carbon prepared from rattan sawdust ", *Dyes and pigments*, vol. 75, n° 1, p. 143-149, 2007.
- [3] X. Chen, X. Dou, D. Mohan, C. U. Pittman, M. Hu, et Y. Ok, " Effects of Surface Iron Hydroxyl Group Site Densities on Arsenate Adsorption by Iron Oxide Nanocomposites ", *Nanoscience and Nanotechnology Letters*, vol. 8, n° 11, p. 1020-1027, nov. 2016, doi: 10.1166/nnl.2016.2190.
- [4] J. Dong et al., " Optimizing magnetic functionalization conditions for efficient preparation of magnetic biochar and adsorption of Pb(II) from aqueous solution ", *Science of The Total Environment*, vol. 806, p. 151442, févr. 2022, doi: 10.1016/j.scitotenv.2021.151442.
- [5] C. Mei, L. Wang, et W. Tao, " Characterization of Magnetic Biochar Modified Using the One-Step and Electrochemical Methods and Its Impact on Phosphate Adsorption ", *Materials*, vol. 16, n° 22, p. 7092, 2023.
- [6] Y. Xu et al., " Study on efficient adsorption mechanism of Pb<sup>2+</sup> by magnetic coconut biochar ", *International Journal of Molecular Sciences*, vol. 23, n° 22, p. 14053, 2022.
- [8] R. Ghibate, O. Senhaji, et R. Taouil, " Kinetic and thermodynamic approaches on Rhodamine B adsorption onto pomegranate peel ", *Case Studies in Chemical and Environmental Engineering*, vol. 3, p. 100078, 2021.
- [9] Z. Abdellatif née Chennouf, " Préparation de charbon mesoporeux actif a base de polymeres synthétiques et derives ligno-cellulosiques et application dans l'adsorption des polluants organiques ", these de doctorat, 2017.
- [10] RABEHI Chanez et MEZHOUH Sara, " Elimination de bleu de méthylène par adsorption sur un matériau naturel ", *Mémoire de Master, Université A. MIRA - Bejaïa*, 2022.
- [11] M. A. M. Salleh, D. K. Mahmoud, W. A. W. A. Karim, et A. Idris, " Cationic and anionic dye adsorption by agricultural solid wastes: a comprehensive review ", *Desalination*, vol. 280, n° 1-3, p. 1-13, 2011.
- [12] S. BOURAHLA, " Etude des phénomènes d'adsorption par la spectroscopie IRTF", these de doctorat, 2018

### Les références du chapitre III

---

- [13] D. Ait Salem, " Adsorption d'un colorant sur un matériau naturel ", PhD Thesis, UMMTO, 2018. Consulté le: 31 mai 2024. [En ligne]. Disponible sur: <https://www.ummo.dz/dspace/bitstream/ummo/1995/1/Ait%20Salem%2C%20Djouher.pdf>
- [14] J. Baliti, A. Asnaoui, et S. Abouarnadasse, " L'élimination du bleu de méthylène par une argile naturelle de Taza en milieu aqueux ", International Journal of Innovative Research in Advanced Engineering, vol. 1, n° 6, p. 9, 2014.
- [15] A. Aarfane et al., " Etude cinétique et thermodynamique de l'adsorption des colorants Red195 et Bleu de méthylène en milieu aqueux sur les cendres volantes et les mâchefers (Kinetic and thermodynamic study of the adsorption of Red195 and Methylene blue dyes on fly ash and bottom ash in aqueous medium) ", Journal of Materials and Environmental Science, vol. 5, n° 6, p. 1927-1939, 2014.
- [16] Y. Yao et al., " Efficient dye adsorption of mesoporous activated carbon from bamboo parenchyma cells by phosphoric acid activation ", RSC Adv., vol. 14, n° 18, p. 12873-12882, avr. 2024, doi: 10.1039/D4RA01652A

*Conclusion générale*



### Conclusion générale

Le traitement de l'eau est devenu l'un des sujets les plus importants ces dernières années, avec une demande croissante pour des technologies abordables et respectueuses de l'environnement destinées à purifier l'eau.

Cette étude a eu pour objectif, d'une part, de préparer un charbon actif magnétique pour évaluer son efficacité dans le traitement des eaux, et d'autre part, de comparer ses performances avec celles d'un charbon actif conventionnel préparé à partir de la même biomasse. Nous avons appliqué ces adsorbants pour l'élimination de la Rhodamine B (RhB), un colorant synthétique largement utilisé dans divers secteurs industriels et connu pour ses effets toxiques sur l'homme et l'environnement.

Notre étude s'est principalement concentrée sur la préparation de deux types d'adsorbants à base de biomasse. Le premier, le charbon actif conventionnel (CAC), a été obtenu par activation chimique avec du  $ZnCl_2$ . Le second, le charbon actif magnétique (CAM), a été préparé par coprécipitation en milieu basique à partir de solutions de  $FeCl_3$  et  $FeSO_4$ .

Les résultats expérimentaux ont révélé les points suivants :

- ✓ La cinétique d'adsorption pour les deux types de charbons actifs atteint le pseudo-équilibre en 60 minutes.
- ✓ La cinétique d'adsorption de la RhB sur le CAC et le CAM suit le modèle du pseudo-second ordre, avec un coefficient de détermination ( $R^2$ ) proche de 1 (0,999).
- ✓ Les meilleures capacités d'adsorption ont été observées à un pH de 9.
- ✓ L'adsorption est un processus endothermique, car une augmentation de la température améliore la quantité de RhB adsorbée par le CAC et le CAM.
- ✓ La présence de NaCl diminue l'efficacité d'adsorption pour le CAC, tandis que pour le CAM, une augmentation de la concentration de NaCl augmente la quantité adsorbée.
- ✓ Les isothermes d'adsorption de la RhB sur le CAC et le CAM suivent le modèle de Langmuir, indiquant une adsorption monomoléculaire.

### Recommandations et perspectives futures :

- ✚ Développer la modélisation des processus d'adsorption pour optimiser les conditions expérimentales et réduire le temps nécessaire à l'obtention des résultats optimaux.
- ✚ Promouvoir l'utilisation de charbons actifs magnétiques dérivés de déchets dans divers secteurs industriels.
- ✚ Continuer à explorer de nouveaux matériaux adsorbants dérivés de biomasse et de sources renouvelables.
- ✚ Étudier les applications potentielles des charbons actifs et biochars magnétiques dans les domaines cosmétique et pharmaceutique.
- ✚ Encourager l'utilisation du charbon actif pour le traitement des eaux usées urbaines, ce qui permettrait de supprimer efficacement les contaminants azotés, phosphorés et les métaux lourds, en plus des polluants organiques abordés dans cette étude.

En conclusion, nos recherches démontrent que les charbons actifs, en particulier ceux modifiés magnétiquement, offrent un potentiel significatif pour l'adsorption de polluants organiques dans des solutions aqueuses, ouvrant ainsi de nouvelles perspectives pour le traitement de l'eau et d'autres applications industrielles.

# *Résumé*

## المخلص:

تهدف هذه الدراسة إلى تصميم مادة ممتزة مغناطيسية مبتكرة (CAM) من مادة ممتزة تقليدية معدلة كيميائيًا قائمة على الكتلة الحيوية (CAC) وتقييم كفاءة هاتين المادتين الممتزتين في إزالة مادة الرودامين B (RhB). تم تحضير المادة الممتزة المغناطيسية عن طريق الترسيب المشترك في وسط قاعدي في محلول يحتوي على  $FeCl_3$  و  $FeSO_4$ . تمت دراسة تأثيرات مختلف المعايير التشغيلية مثل زمن الاتصال، ودرجة الحموضة، وتأثير الأملاح، ودرجة الحرارة. أظهرت النتائج أن الكربون النشط المغناطيسي يعد مادة ممتزة فعالة لإزالة مادة الرودامين B من المحاليل المائية، حيث وصلت نسبة الإزالة إلى 99.12% لتركيز ابتدائي يبلغ 100 ملغ/لتر، مقارنةً بنسبة إزالة بلغت 95% للكربون النشط التقليدي بنفس التركيز. تشير البيانات التجريبية إلى أن الامتزاز في حالة التوازن يتم تمثله بشكل أفضل بواسطة نموذج لانجموير، مما يبرز امتصاص الرودامين B على طبقة متجانسة أحادية من المادة الممتزة. علاوة على ذلك، تتبع حركية الامتزاز نموذج المرتبة الثانية الزائف. تقدم هذه الدراسة مساهمة كبيرة في تقنيات مكافحة تلوث المياه، وتسلسل الضوء على إمكانيات الامتزاز بواسطة الكربون النشط المغناطيسي كاستراتيجية واعدة لتحقيق الأهداف البيئية.

**الكلمات المفتاحية:** الامتزاز، الرودامين B، الكربون النشط المغناطيسي، الكربون النشط التقليدي.

## Résumé

L'objectif de cette étude est de concevoir un adsorbant magnétique innovant (CAM) à partir d'un adsorbant conventionnel à base de biomasse chimiquement modifiée (CAC) et d'évaluer l'efficacité de ces deux adsorbants pour l'élimination de la Rhodamine B (RhB). Le CAM a été préparé par coprécipitation en milieu basique dans une solution de  $FeCl_3$  et  $FeSO_4$ . Les impacts de divers paramètres opérationnels tels que le temps de contact, le pH, l'effet des sels et la température ont été étudiés. Les résultats ont démontré que le charbon actif magnétique constitue un adsorbant efficace pour éliminer la RhB des solutions aqueuses, avec un taux d'élimination atteignant 99,12 % pour une concentration initiale de 100 mg/L, comparativement à un taux d'élimination de 95 % pour le CAC à la même concentration. Les données expérimentales suggèrent que l'adsorption à l'équilibre est mieux représentée par le modèle de Langmuir, mettant en avant une adsorption de la RhB sur une monocouche homogène de l'adsorbant. De plus, la cinétique d'adsorption suit le modèle du pseudo-second ordre. Cette étude apporte une contribution significative à la recherche sur les technologies de dépollution des eaux, soulignant le potentiel de l'adsorption par charbon actif magnétique comme une stratégie prometteuse pour atteindre des objectifs environnementaux.

**Mots clés:** Adsorption, Rhodamine B, charbon actif magnétique, charbon actif conventionnel.

## Abstract:

The objective of this study is to design an innovative magnetic adsorbent (MAC) from a conventionally modified biomass-based adsorbent (CAC) and to evaluate the efficiency of these two adsorbents for the removal of Rhodamine B (RhB). The MAC was prepared by coprecipitation in a basic medium in a solution of  $FeCl_3$  and  $FeSO_4$ . The impacts of various operational parameters such as contact time, pH, salt effect, and temperature were studied. The results demonstrated that magnetic activated carbon is an effective adsorbent for removing RhB from aqueous solutions, with a removal rate reaching 99.12% for an initial concentration of 100 mg/L, compared to a removal rate of 95% for CAC at the same concentration. Experimental data suggest that equilibrium adsorption is best represented by the Langmuir model, highlighting RhB adsorption on a homogeneous monolayer of the adsorbent. Furthermore, the adsorption kinetics follow the pseudo-second-order model. This study makes a significant contribution to water pollution control technologies, highlighting the potential of magnetic activated carbon adsorption as a promising strategy to achieve environmental goals. **Keywords:** Adsorption, Rhodamine B, magnetic activated carbon, conventional activated carbon.