

	الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية	
	People's Democratic Republic of Algeria	
	وزارة التعليم العالي والبحث العلمي	
	Ministry of Higher Education and Scientific Research	
	جامعة عبد الحميد بن باديس - مستغانم	
	Abdel Hamid Ibn Badis University – Mostaganem	
	كلية العلوم والتكنولوجيا	
	Faculty of Sciences and Technology	
	قسم هندسة الطرائق	
	Department of Process Engineering	

**N° d'ordre : M2...../GP/2025**

## MEMOIRE DE FIN D'ETUDES DE MASTER ACADEMIQUE

**Filière : Génie des procédés**

**Spécialité : Génie des procédés d'environnement**

### Thème

***Application d'un procédé d'adsorption pour l'élimination  
de deux colorants textile***

**Présenté par :**

BELKHELFA Nour el Houda

Soutenu le 29/06/ 2025 devant le jury composé de :

Présidente :	MEKIBES Zohra	Maitre de Conférences "B"	Université de Mostaganem
Examinatrices :	MEDJDOUB Aicha	Maitre de Conférences "B"	Université de Mostaganem
Encadrante :	DOUARA Nadia	Maitre de Conférences "A"	Université de Mostaganem
Co-Encadrante :	KHALILI Khadija	Doctorante	Université de Mostaganem

**Année universitaire 2024 / 2025**

## *Dédicace*

**Nous dédions ce modeste travail, comme preuve de respect, de gratitude, et de reconnaissance à :  
Un grand merci à tous les doctorants, enseignants de l'Université de Mostaganem qui nous ont soutenu de près ou de loin pour la réalisation de ce mémoire.  
Mon grand père perdu qui a toujours souhaité me voir à cette remise des diplômes**

**Nos chers parents : Qui n'ont jamais cessé de nous encourager et nous conseiller, Ils nous ont beaucoup aidé tout en long de notre chemin, grâce à leur amour, leur compréhension, leurs sacrifices, leur tendresse, leurs prières et leur patience et leur soutien moral et matériel.**

**Nos chers frères et sœurs : Pour leurs encouragements permanents, et leur soutien moral, pour leur indulgence en notre faveur qu'ils touchent ici l'affection la plus intime qu'on ressent à leur égard.**

**Nos amis et collègues : Pour leur compagnie et bons moments passés ensemble. Et tous ceux qui nous sont chers... Merci d'être toujours là pour nous.**

**☞ Que Dieu vous garde ☞**

*Nour el Houda*

## Remercîment

Tout d'abord, on tient à remercier le bon Dieu Tout-Puissant pour toutes ses bénédictions dont ce travail fait partie.

Je tiens à exprimer notre profonde gratitude et reconnaissance envers mon encadrante madame **DOUARA Nadia** pour sa patience, encouragements et surtout les conseils et sa présence précieuse durant l'élaboration de ce travail.

J'adresse mes remerciements les plus sincère à ma Co-encadrante mademoiselle **K. KHALILI** pour l'intérêt qu'elle a porté à notre travail et pour avoir accepté de nous aider

Je remercie madame **MEKIBES Zohra** la présidente de jury pour avoir accepté de présider ce jury.

Je tiens à remercier madame **MEDJDOUBE Aicha** pour avoir accepté de nous avoir examiné notre travail de fin d'étude.

Un remerciement plus particulier à tous nos enseignants de département de science de la technologie de l'Université Abd El Hamid Ibn Badis.

Enfin, grands Merci à mes familles respectives et mes amis qui nous ont aidés. Je profite de l'occasion pour remercier tous ceux qu'ont collaborés de près ou de loin à la réalisation de ce projet.

## Résumé

L'objectif de ce travail est de valoriser un déchet végétal en vue de l'élimination des polluants organiques par adsorption. Ce mémoire se concentre sur l'application du charbon actif, pour l'adsorption d'un colorant Acide Rouge 14 et Rhodamine B.

Dans cette étude nous avons étudiées l'influence de quelques paramètres sur la capacité d'adsorption à savoir la masse d'adsorbant, la température, le pH du milieu et du colorant avec la modélisation des isothermes et la cinétique d'adsorption.

**Mots clés :** Adsorption, Charbon actif, Acide Rouge 14.

## ملخص

الهدف من هذا العمل هو ترميم النفايات النباتية للقضاء على الملوثات العضوية عن طريق الامتزاز. تركز هذه الأطروحة على تحضير وتوصيف وتطبيق الكربون المنشط الناتج من المخلفات النباتية لامتصاص صبغة الأحمر الحمضي 14 (الأزوروبين) ريدومين ب. قمنا بدراسة تأثير بعض العوامل على قدرة الامتزاز وهي كتلة المادة المازة ودرجة الحرارة ودرجة الحموضة للوسط والصبغة. مع نمذجة متساوي الحرارة وحركية الامتزاز.

**الكلمات المفتاحية:** الامتزاز، الكربون المنشط، الأزوروبين، حمض أحمر 14 .

## Abstract

The objective of this work is to recover a plant waste for the elimination of organic pollutants by adsorption. This dissertation focuses on the application of activated carbon, for the adsorption of a acid Red 14 dye (Azorubin) and Rhodamine B.

In this work we studied the influence of some parameters on the adsorption capacity, namely the mass of adsorbent, the temperature, the pH of the medium and the dye with modeling of isotherms and adsorption kinetics.

**Key words:** Adsorption, Activated carbon, Azorubin, Rhodamine B.

## Sommaire

Dédicace

Remerciement

Liste de figures

Liste des tableaux

Introduction Générale..... 1

### Chapitre I L'adsorption

I.1 Introduction ..... 3

I.1.1 Définition.....3

I.1.2 Les types d'adsorption.....3

I.1.3 Les facteurs influençant des paramètres d'adsorption..... 4

I.1.4 Le mécanisme d'adsorption.....4

I.2 Modèles d'isothermes.....5

I.3 La cinétique.....7

I.3.1 Définition.....7

I.3.1 Pseudo premier ordre.....8

I.3.2 Pseudo deuxième ordre.....8

I.3.3 Modèle de diffusion intra-particulaire.....9

I.4 Classification des isothermes d'adsorption.....10

### Chapitre II : Charbons actif et les colorants

II.1. Charbon actif.....11

II.1.1. Définition.....11

II.1.2 Caractéristique du charbon actif.....11

II.1.3 Différents types de charbon actif.....12

II.2. Les matériaux carbonés.....14

II.3 Généralité sur les colorants.....15

II.3.1 Définition.....15

II.3.2 Les types des colorants.....16

II.4. Polluant organique.....	16
II.4.1 Types de polluants organiques.....	17

## Chapitre III : Partie expérimentale

III.1. Généralité.....	19
III.2. Caractéristiques des molécules à étudiées.....	19
III.3 Spectrophotométrie UV-Vis.....	20
III.3.1 Détermination de la longueur d'onde maximale.....	21
III.3.2 Préparation de solution mère.....	21
III.4. Les différents paramètres d'adsorption.....	21
III.4.1 Effet de dose.....	21
III.4.2. Effet de PH.....	23
III.4.3 Effet de temps.....	25
III.4.4 Isotherme d'adsorption.....	26
III.4.4.1 Les modèles d'isothermes d'adsorption.....	27
III.4.5 Thermodynamique d'adsorption.....	31
III.4.5.1 Les paramètres de Thermodynamique d'adsorption.....	32
III.4.6. Etudes cinétique d'adsorption des deux colorants sur charbon actif.....	35
III.4.6.1. Modèle de pseudo premier ordre.....	35
III.4.6.2. Modèle de pseudo deuxième ordre.....	36
III.4.6.3 Modèle cinétique diffusion intra-particulaire.....	38
Conclusion générale.....	42
Références.....	43

## Liste des figures

<b>Figure I.1</b> : Schéma de l'adsorption physique.....	4
<b>Figure I.2</b> : Schéma du mécanisme d'adsorption.....	5
<b>Figure II.1</b> : Présentation du charbon actif.....	11
<b>Figure II.2</b> : Structure du charbon actif vu sous un microscope électronique.....	12
<b>Figure II.3</b> : Présente le CA en Extrudé.....	12
<b>Figure II.4</b> : Présente le charbon actif (CA) en poudre.....	13
<b>Figure II.5</b> : Présente le charbon actif (CA) en Grain.....	14
<b>Figure II.5</b> : Les nano tube du carbone.....	15
<b>Figure II.6</b> : Les colorants.....	16
<b>Figure III.1</b> : Spectrophotomètre UV visible.....	20
<b>Figure III.2</b> : Effet de la dose de l'adsorbant sur l'adsorption du Rhodamine B.....	22
<b>Figure III.3</b> : Effet de la dose de l'adsorbant sur l'adsorption du acide Rouge 14.....	22
<b>Figure III.4</b> : Effet de pH de solution pour le Rhodamine B sur l'adsorption.....	24
<b>Figure III.5</b> : Effet de pH de solution pour le Acide rouge 14 sur l'adsorption.....	24
<b>Figure III.6</b> : Effet de temps de solution pour le Rhodamine B sur l'adsorption.....	25
<b>Figure III.7</b> : Effet de temps de solution pour le Rouge acide 14 sur l'adsorption.....	26
<b>Figure III.8</b> : L'isotherme d'adsorption de Rhodamine B pour le modèle de Langmuir.....	27
<b>Figure III.9</b> : L'isotherme d'adsorption d'acide rouge 14 pour le modèle de Langmuir.....	27
<b>Figure III.10</b> : L'isotherme d'adsorption Rhodamine B pour le modèle de Freundlich.....	28
<b>Figure III.11</b> : L'isotherme d'adsorption d'acide rouge 14 pour le modèle de Freundlich.....	28
<b>Figure III.12</b> : L'isotherme d'adsorption de Rhodamine B pour le modèle de temkin.....	29
<b>Figure III.13</b> : L'isotherme d'adsorption d'acide rouge 14 pour le modèle de temkin.....	29
<b>Figure III.14</b> : Variation de $\ln k_d$ en fonction de $1/T$ pour l'adsorption de Rhodamine B.....	31
<b>Figure III.15</b> : Variation de $\ln k_d$ en fonction de $1/T$ pour l'adsorption d'Acide Rouge 14.....	32
<b>Figure III.16</b> : Variation du taux d'élimination d'acide rouge 14 en fonction de la température.....	32
<b>Figure III.17</b> : Variation du taux d'élimination du Rhodamine B en fonction de la température.....	33
<b>Figure III.18</b> : Tracé de la forme linéaire du modèle cinétique du pseudo premier ordre pour le Rhodamine B.....	35
<b>Figure III.19</b> : Tracé de la forme linéaire du modèle cinétique du pseudo premier ordre pour l'Acide Rouge 14.....	36

<b>Figure III.20:</b> Tracé de la forme linéaire du modèle cinétique du pseudo deuxième ordre pour le Rhodamine B.....	36
<b>Figure III.21:</b> Tracé de la forme linéaire du modèle cinétique du pseudo deuxième ordre pour l'Acide Rouge 14.....	37
<b>Figure III.22:</b> Cinétique d'adsorption de Rhodamine B de diffusion intra-particulaire.....	38
<b>Figure III.23:</b> Cinétique d'adsorption d'Acide Rouge 14 de diffusion intra-particulaire....	39

## Liste des tableaux

<b>Tableau I.1:</b> Les domaines de la cinétique.....	8
<b>Tableau. II. 1:</b> Avantages et inconvénients du charbon actif en granulés.....	14
<b>Tableau III.1 :</b> Quelques caractéristiques de Rhodamine b.....	19
<b>Tableau III.2:</b> Quelques caractéristiques d'azorubine.....	19
<b>Tableau III.3:</b> Valeurs de $\lambda_{\max}$ des colorants utilisés .....	21
<b>Tableau III.4 :</b> Résultats obtenus d'isotherme d'adsorption de Rhodamine b pour les trois modèles.....	30
<b>Tableau III.5 :</b> Résultats obtenus d'isotherme d'adsorption de Rouge acide 14 pour les trois modèles.....	30
<b>Tableau III.6:</b> Les paramètres thermodynamiques de l'adsorption des deux colorants sur le charbon actif.....	34
<b>Tableau III.7 :</b> Résultats obtenus de la cinétique d'adsorption de Rhodamine b de pseudo 1 <sup>er</sup> ordre et 2 <sup>ème</sup> ordre.....	37
<b>Tableau III.8 :</b> Résultats obtenus de la cinétique d'adsorption de Rouge acide 14 de pseudo 1 <sup>er</sup> ordre et 2 <sup>ème</sup> ordre.....	37
<b>Tableau III.9 :</b> Résultats obtenus de la cinétique d'adsorption de Rhodamine b de diffusion intra-particulaire.....	39
<b>Tableau III.10 :</b> Résultats obtenus de la cinétique d'adsorption de Rouge Acide 14 de diffusion intra-particulaire.....	39

### **Introduction générale**

L'eau est un élément vital dont l'importance au niveau planétaire est sans cesse rappelée. Sa pollution par les activités industrielles et agricoles constitue un sujet de préoccupation majeur de nos sociétés développées [1].

L'industrie des colorants entraîne une pollution très grave pour les citoyens et l'environnement car ils sont des produits chimiques nocifs pour la santé, tels que certains colorants azoïques cancérigènes, qui provoquent une pollution de l'eau ce qui nécessite des techniques pour les dégrader [2].

L'origine des eaux résiduaires colorées est pratiquement industrielle principalement celle du textile, du cuir [3], des entreprises cosmétique, pharmaceutique [4], et agroalimentaire [5]. Les colorants sont principalement des composés aromatiques et hétérocycliques, leur structure complexe et stable comprend des chromophores et des groupements fonctionnels polaires qui sont difficilement dégradables.

Les rejets industriels représentent une menace de plus en plus inquiétante vis-à-vis de l'homme et des écosystèmes. Les effluents industriels et les polluants résultants de l'utilisation intensive des produits organiques tels que les colorants constituent les causes majeures de pollution de l'environnement [6].

Cette pollution entraîne une perturbation de l'écosystème dont les conséquences peuvent aller jusqu'à la migration ou l'extinction de certaines espèces incapables de s'adapter au changement de l'environnement. Le phénomène de pollution est provoqué par nombreuse activités humaines, industriels et quelques phénomènes naturels, les colorants font depuis tout récrément l'objet d'une préoccupation environnementale croissante [7].

Une prise de conscience c'est généralisé chez les scientifiques qui cherchent des procédés de dépollution pour l'élimination des polluants organiques fréquemment retrouvé à concentration significative dans les milieux aquatiques [8].

Les eaux usées colorées sont habituellement traitées par des procédés physiques ou chimiques. Ceux-ci comprennent la floculation, la flottation [9], l'électrocoagulation seule ou combinée à la flottation [10], la précipitation, les techniques d'oxydation telle que l'oxydation photo-catalytique [11] et l'ozonation, la filtration membranaire [12], les échanges

d'ions et l'adsorption. La technique de l'adsorption est la méthode la plus favorable pour l'élimination.

des colorants est devenue une méthode analytique de choix, très efficace et simple dans son utilisation [13].

Le principe du traitement par adsorption est de piéger les colorants par un matériau solide appelé adsorbant. Il existe, dans la littérature, plusieurs matériaux solides (argiles, zéolites, alumines activées, boue, biomasses, résidus agricoles, sous-produits industriels et charbon actif...) pouvant être utilisés dans des procédés de décoloration des eaux.

Les charbons actifs sont les plus utilisés, fabriqués à partir d'une variété de précurseurs à teneur élevée en carbone, comme le bois, les algues filamenteuses [14], les noyaux du jujubier sauvage, les noyaux des fruits jaunes du prunier mombin [15], les bois des noix et de peuplier [16]. L'avantage est que ces matériaux sont renouvelables et potentiellement moins chers à fabriquer.

C'est dans ce cadre que s'inscrit ce travail dont l'objectif est d'étudier les capacités d'adsorption d'un charbon actif préparé au laboratoire, notre travail de fin d'étude est divisé en deux parties.

- Une partie bibliographique qui traitera en premier lieu des informations sur le phénomène d'adsorption, quelques généralités sur les colorants.
- Une partie expérimentale, dans laquelle on étudie l'effet de paramètres influençant l'adsorption tels que, la température, le pH, la dose et le temps de contact ainsi qu'une application concernant l'adsorption de l'acide rouge 14 et du Rhodamine B et enfin une étude cinétique de l'adsorption effectuée sur les polluants choisis.

### I.1 Introduction

L'adsorption est un phénomène physico-chimique se traduisant en particulier par une modification de concentration à l'interface de deux phases non miscibles. L'adsorption est un phénomène de surface, est donc à distinguer de l'absorption, phénomène de profondeur [17].

Au cours de ce processus les molécules d'un fluide (gaz ou liquide), appelé adsorbat, viennent se fixer sur la surface d'un solide, appelé adsorbant donc tout atome ou molécule qui s'approche d'une surface subit une attraction qui peut conduire à la formation d'une liaison entre la particule et la surface [18].

Il existe cinq types d'interfaces selon la nature des deux phases : gaz / liquide, gaz/solide, liquide/liquide, liquide/solide, solide/solide, et pour chacun de ces types d'interfaces, on peut distinguer le cas où ces phases sont pures de celui où elles constituent des mélanges [19].

#### I.1.1 Définition

L'adsorption est un processus qui permet de fixer des molécules d'un fluide sur la surface d'un solide, augmentant ainsi la concentration de ces molécules sur la surface sans modifier le volume du milieu poreux.

L'adsorption est l'un des moyens mis à la disposition du traiteur d'eau pour éliminer les matières organiques non dégradables dissoutes, extraites de la phase liquide ou gazeuse dans laquelle ils sont immergés ainsi que l'élimination des métaux lourds qui peuvent être dissouts dans l'eau [20].

#### I.1.2 Les types d'adsorption

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

##### I.1.2.1 Adsorption Physique

L'adsorption physique ou physisorption est un phénomène physique met en jeu de faibles interactions entre entités moléculaires comme les forces d'attraction de van der Waals et des forces dues aux interactions électrostatiques de polarisation. L'adsorption physique est un phénomène réversible, peu spécifique, rapide et généralement limitée par les phénomènes de diffusion.

## Chapitre I : L'adsorption

La force des interactions mises en jeu peut être estimée par l'énergie d'adsorption physique qui est comprise entre 5 et 40 kJ. Mol et considérée comme faible. L'adsorption physique est donc favorisée par une baisse de la température et peut se faire en monocouche ou multicouches [21].

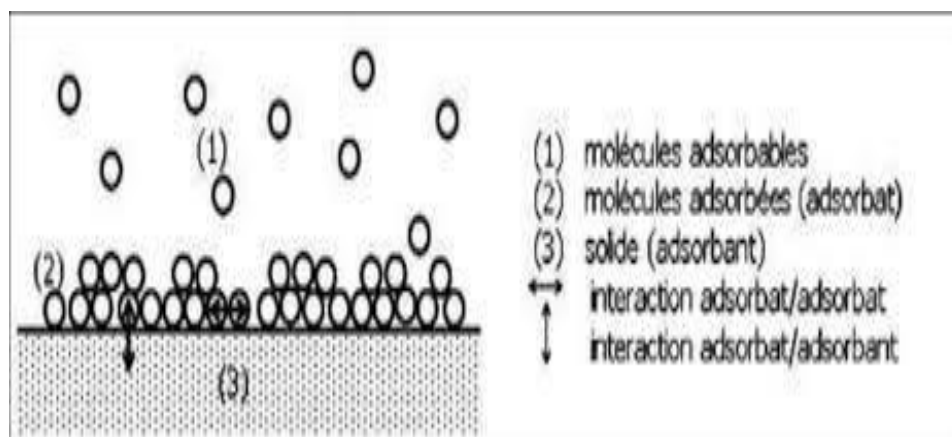


Figure I.1 : Schéma de l'adsorption physique.

### I.1.2.2 L'adsorption chimique

L'adsorption chimique (ou **chemisorption**) est un phénomène au cours duquel des molécules ou des atomes d'une substance (généralement des gaz ou des liquides) se fixent sur la surface d'un solide par des interactions chimiques. Contrairement à l'adsorption physique (ou physisorption), qui repose sur des forces de van der Waals plus faibles, l'adsorption chimique implique des liaisons chimiques plus fortes, comme des liaisons covalentes ou ioniques[22].

### I.1.3 Les facteurs influençant des paramètres d'adsorption

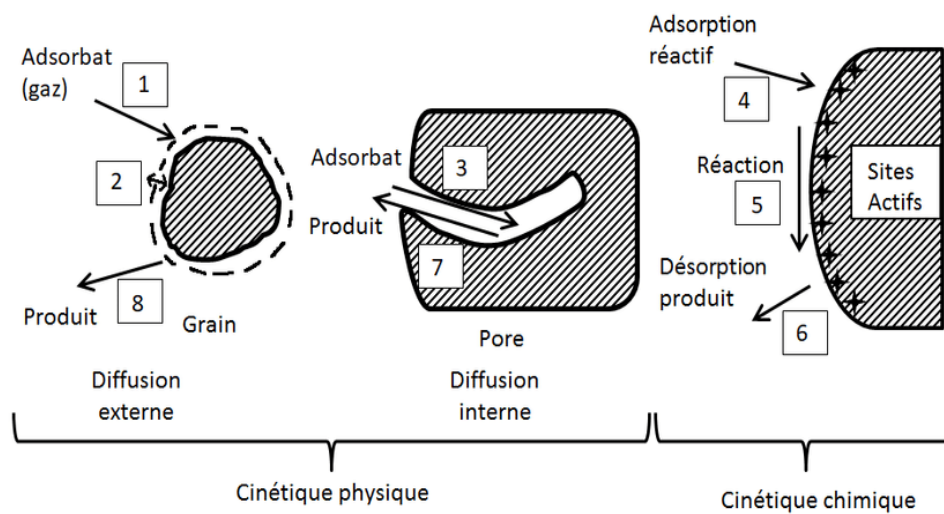
L'adsorption dépend de nombreux facteurs dont les principaux sont :

- Les caractéristiques de l'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 la température et pH.

### I.1.4 Le mécanisme d'adsorption

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

- ✓ Diffusion externe : Elle correspond au transfert du soluté (molécules de la Phase liquide) du sein de la solution à la surface externe des particules ;
- ✓ Diffusion interne : Les particules de fluide pénètrent à l'intérieur des pores. Elle dépend du gradient de concentration de la solution ;
- ✓ Diffusion de surface : Elle correspond à la fixation des molécules sur la surface des pores [23].



**Figure I.2:** schéma du mécanisme d'adsorption.

### I.2 Modèles d'isothermes

Plusieurs lois ont été proposées pour l'étude de l'adsorption. Elles expriment la relation entre la quantité adsorbée et la concentration en soluté dans un solvant à une température donnée. Nous rappellerons ci-dessous les principales lois utilisées.

#### I.2.1. Modèle de Langmuir

La première théorie fondamentale de l'adsorption des gaz sur des solides fut proposée par Langmuir en 1918 ; elle repose sur les hypothèses ci-dessous [24] :

- L'existence des sites d'adsorption à la surface de l'adsorbant.
- Une seule molécule peut s'adsorber par site.
- Chacun de ces sites à la même affinité pour le soluté en solution .

- Les interactions entre les molécules adsorbées et leurs voisines sont négligées.
- L'adsorption se fait en une seule couche complètement saturée.

Le modèle d'adsorption de Langmuir peut être exprimé sous la forme suivante :

$$q_e = \frac{x}{m} = \frac{bK_L C_e}{1 + K_L C_e} \quad (1)$$

**Avec :**

**$q_e$**  : Quantité adsorbée à l'équilibre par unité de poids de l'adsorbant (mg/g).

**$b$**  : Capacité d'adsorption à la saturation (mg/g) et qui correspond à la formation d'une monocouche.

**$K_L$**  : Coefficient d'adsorption (L/mg).

**$C_e$**  : Concentration du substrat à l'équilibre (mg/L).

### I.2.2. Modèle de Freundlich

Dans ce modèle, le nombre de sites susceptibles d'adsorber le composé est illimité. Ainsi, contrairement à l'isotherme de Langmuir, celui de Freundlich ne présente pas de maximum [25]. L'isotherme de Freundlich est l'une des plus anciennes équations décrivant l'adsorption (1906). Cette isotherme empirique décrit avec satisfaction l'adsorption sur des surfaces énergétiquement hétérogènes. Le modèle de Freundlich est exprimé par l'équation suivante:

$$q_e = \frac{x}{m} = K_F C_e^{\frac{1}{n}} \quad (2)$$

Après linéarisation on obtient :

$$\text{Log}(q_e) = \text{log}(K_F) + \frac{1}{n} \times (\text{log} C_e) \quad (3)$$

**Avec :**

**$q_e$**  : Capacité d'adsorption en (mg/g) .

**$K_F$**  : Constante de Freundlich (L mg<sup>-1</sup>) .

**$\frac{1}{n}$**  : Constante se rapportant à l'intensité de l'adsorption en coordonnées logarithmiques

## Chapitre I : L'adsorption

---

On note que : pour  $\frac{1}{n} > 1$ , On a une forte adsorption tandis que pour  $\frac{1}{n} < 1$ , on a une faible adsorption.

### I .2.3.Modèle de Temkin

Temkin et Pyzhew (1940) ont proposé un modèle qui tient compte de l'effet indirect des interactions adsorbant/adsorbant dans l'isotherme d'adsorption. En effet à cause de ces interactions, la chaleur d'adsorption de toutes les molécules diminue linéairement avec la couche recouverte [26].

L'isotherme de Tamkin est donnée par l'équation suivante :

$$q_e = \frac{RT}{b} \ln(K_T C_e) \quad (4)$$

Avec :

$q_e$  : Quantité adsorbée à l'équilibre par unité de poids de l'adsorbant (mg/g).

$C_e$  : concentration du soluté à l'équilibre (mg/L) .

$R$  : constante des gaz parfaits (J/mol. K) .

$T$  : température absolue (K) .

$b_T$  : variation de l'énergie d'adsorption (J. mol/g.mg) .

$K_T$  : constante d'équilibre (L/mg).

## I.3 La cinétique

### I.3.1 Définition

La cinétique chimique est une branche de la chimie qui se préoccupe de l'évolution et de la vitesse à laquelle une réaction chimique se déroule, ainsi que des facteurs qui peuvent influencer la vitesses de la réaction, comprenant, mais pas limité à:

- La concentration des réactants
- La température du milieu
- La présence du catalyseurs

**Tableau I.1:** Les domaines de la cinétique

<i>Domaine</i>	<i>Objet de la cinétique</i>
Chimie	Vitesse des réactions chimiques
Mécanique/Physique	Description du mouvement
Biochimie	Réaction enzymatiques
Science des matériaux	Changements physiques dans le temps

### I.3.1 Pseudo premier ordre

En chimie, une réaction est considérée d'ordre pseudo-premier s'il s'agit d'une réaction qui se comporte comme d'ordre un parce qu'un ou plusieurs réactifs sont en excès, même s'il s'agit d'un ordre supérieur. Ce modèle s'exprime selon la forme différentielle suivante:

$$\frac{dq_t}{dt} = K_1(q_e - q_t) \quad (5)$$

Avec :

**K<sub>1</sub>** : la constante de vitesse pour une cinétique de pseudo première ordre (min<sup>-1</sup>).

**q<sub>t</sub>** : la capacité d'adsorption à l'instant t (mg/g).

**q<sub>e</sub>** : la capacité d'adsorption à l'équilibre (mg/g).

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

$$\log(q_e - q_t) = \log(q_e) - k_1 \times t \quad (6)$$

Les paramètres cinétiques de ce modèle peuvent être obtenus en traçant la droite :

$$\mathbf{Log(q_e - q_t) = f(t)}$$

avec k<sub>1</sub> est la pente de ce droit.

### I.3.2 Pseudo deuxième ordre

Une réaction pseudo -deuxième ordre est une réaction pour certaines expérimentations spécifiques, elle se comporte comme une réaction de deuxième ordre, même si son ordre est plus élevé (parfois 3 ou plus), car l'un des réactifs est en grande quantité. L'équation du pseudo-second ordre est souvent utilisée avec succès pour décrire la cinétique de la réaction de fixation des solutés sur l'adsorbant. Ce modèle permet de caractériser la cinétique d'adsorption en

prenant compte, à la fois, le cas d'une fixation rapide des solutés sur les sites les plus réactifs et celui d'une fixation lente sur les sites d'énergie faible. Dans ce cas, le modèle pseudo-second ordre peut être exprimée comme suit [27] :

$$\frac{dq_t}{dt} = k_2(q_e - q_t)^2 \quad (7)$$

Où :

$k_2$ : la constante de vitesse pour une cinétique de pseudo deuxième ordre ( $\text{mg} \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$ ) ;

$q_t$  : la capacité d'adsorption à l'instant  $t$  ( $\text{mg}/\text{g}$ );

$q_e$  : la capacité d'adsorption à l'équilibre ( $\text{mg}/\text{g}$ ).

L'intégration de l'équation donne :

$$\frac{t}{qt} = \frac{1}{K \times qe^2} + \frac{t}{qe} \quad (8)$$

Les paramètres cinétiques de ce modèle peuvent être obtenus en traçant la droite :

$t / qt = f(t)$  , où  $1/qe$  est la pente de cette droite.

### I.3.3 Model de diffusion intra-particulaire:

Le modèle de la diffusion intra-particulaire a pour but d'étudier l'existence du mécanisme de diffusion lors de l'adsorption, et il est basé sur l'équation suivante donnée [28] :

$$q_t = k_{\text{int}} t^{1/2} + C \quad (9)$$

Avec

$k_{\text{int}}$  : est la constante de la diffusion intra-particulaire en ( $\text{mg}/\text{g} \cdot \text{min}^{1/2}$ ) .

$C$  : est l'ordonnée à l'origine ( $\text{mg}/\text{g}$ ).

$t$ : le temps de contact en minutes.

$C$  : constante qui fournit une indication de l'épaisseur de la couche limite.

Il représente l'effet de l'épaisseur de la couche limite, et cet effet est proportionnel à l'augmentation de l'intersection  $C$ . Lorsque la diffusion intra-particulaire est impliquée dans le procédé d'adsorption, la courbe  $q_t = f(t^{1/2})$  sera linéaire. Si cette courbe passe par l'origine,

alors la diffusion intra-particulaire est la seule étape de limitation de la vitesse de l'ensemble du processus d'adsorption [29].

### I.4 Classification des isothermes d'adsorption

- **Type S (Sigmoïde)** : Indique une adsorption verticale de molécules monofonctionnelles polaires sur un adsorbant polaire. Ici le solvant rivalise avec le soluté pour l'occupation des sites de l'adsorbant.

- **Type L (Langmuir)** : Langmuir normal, indique l'adsorption à plat de molécules bifonctionnelles. Dans ce cas l'adsorption du solvant est faible et celle du soluté sur le solide se fait en monocouche.

- **Type C (Partition Constante)** : Ligne droite, cela signifie qu'il y a compétition entre le solvant et le soluté pour occuper les sites, toujours avec le même partage.

- **Type H (Haute affinité)** : Cas particulier de l'isotherme du type L s'obtient lorsqu'il y a chimisorption du soluté.

### II.1.Charbon actif

#### II.1.1. Définition

Le charbon actif est de loin l'adsorbant le plus largement fabriqué et utilisé industriellement. Ils peuvent être obtenus à partir d'un grand nombre de matières carbonées (bois, charbon, noix de coco, résidus pétroliers, ferrailles, etc.) grâce à un processus de carbonisation suivi d'un processus d'activation correctement contrôlé.

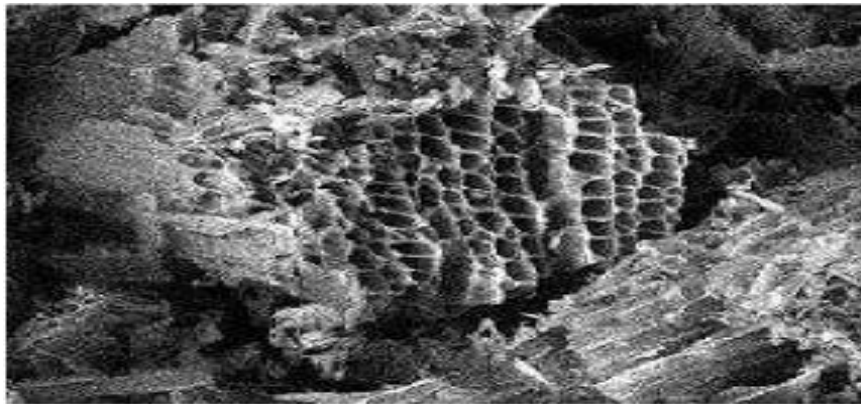
Le charbon actif est composé de graphite microcristallin élémentaire assemblé selon une orientation aléatoire. Ils sont couramment utilisés pour la récupération des vapeurs de solvants et d'hydrocarbures, la décoloration, la purification de l'eau et l'élimination des odeurs[30].



**Figure II.1:** Présentation du charbon actif.

#### **II.1.2** Caractéristique du charbon actif

La structure du charbon actif est similaire à celle du graphite, constituée de couches continues d'atomes de carbone plats disposés en hexagones réguliers. Le charbon actif est un adsorbant non spécifique avec une structure poreuse bien développée composée principalement de micropores et de mésoporeuse de différents diamètres, comme le montre la figure II.2. [31].



**Figure II.2:**Structure du charbon actif vu sous un microscope électronique.

### **II.1.3 Différents types de charbon actif**

#### **II.1.3.1 Le Charbon actif Extrudé (CAE)**

Le charbon actif extrudé comme présentée dans la (figure II.3) est de forme cylindrique avec des diamètres allant de 0.8 mm à 5 mm. Il est principalement utilisé pour des applications en phase gazeuse à cause de sa faible perte de charge, de sa grande résistance mécanique et de sa faible teneur en poussières [32].



**Figure II.3 :** Présente le CA en Extrudé.

#### **II.1.3.2. Charbon actif en poudre (CAP)**

Le CAP est un réactif en poudre avec une granulométrie très fine de 10 à 50  $\mu\text{m}$ . Sa qualité Le volume varie en fonction de la fluidisation et du compactage du matériau et peut aller de 200 à 600  $\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$ .

La mise en œuvre du PAC est relativement simple et nécessite des coûts d'investissement relativement faibles. Cependant, une utilisation continue et des doses élevées ( $> 20 \text{ g/m}^3$ ) peuvent entraîner des coûts d'exploitation élevés. Il est donc principalement utilisé pour lutter contre la pollution lumineuse, et/ou à court terme. Néanmoins, cela représente un niveau de sécurité respectable. Face à une contamination inattendue [33].



**Figure II.4 :** Présente le charbon actif (CA) en poudre.

### II.1.3.3 Charbon actif en grain (CAG)

L'élimination des micropolluants organiques et des matières organiques est l'utilisation des CAG. Les pesticides et les composés aromatiques sont les principaux polluants traces organiques.

Le charbon actif en poudre est 2 à 3 fois moins cher que le charbon actif granulaire (CAG). C'est la cinétique d'adsorption est très rapide, mais le charbon actif granulaire est généralement le plus efficace. Il est populaire car il peut être facilement séparé de l'eau après utilisation [34].



**Figure II.5 :** Présente le charbon actif (CA) en Grain.

**Tableau. II. 1:** Avantages et inconvénients du charbon actif en granulés.

<i>Avantages</i>	<i>Inconvénients</i>
Le charbon actif granulé a une capacité d'adsorber une partie de presque toutes les vapeurs.	Durée de vie limitée.
Il a une grande capacité d'adsorption Pour les substances organiques en particulier les solvants	Préfiltration : les carburants dissous et matières en particules peuvent rapidement encrasser Le charbon, nécessitant un prétraitement.
Il retient un grand nombre de substances chimiques en même temps.	Coût: le besoin de remplacer régulièrement le charbon épuisé rend le charbon actif granulé plus cher que le stripping pour des concentrations élevées de contaminants.

### II.2. Les matériaux carbonés

es matériaux carbonés sont une famille de matériaux contenant du carbone comme élément principal, souvent sous forme d'atomes organisés différemment selon le type de matériau (amorphe, graphitique, nanostructure...). Ils sont présents dans de très nombreuses applications industrielles, scientifiques et technologiques. Il a une excellente résistance thermique, bonne conductivité électrique, et résistance mécanique élevée. On peut utiliser dans plusieurs domaines (énergie, médecine, environnement et électronique).



**Figure II.5 :** Un matériau en carbone.

Les matériaux en carbone ont des propriétés physiques telles que :

- Haute luminosité
- La transmission de la lumière est bonne,
- la conductivité électrique et thermique sont élevées
- la résistance à la corrosion élevée.
- Sa transmission de la lumière peut être aussi bonne que celle du verre,
- La conductivité électrique et thermique peut être aussi bonne que celle du cuivre et de l'aluminium.

### **II.3 Généralité sur les colorants**

#### **II.3.1 Définition**

Un colorant est un produit chimique coloré qui a la capacité de transférer sa couleur à une autre substance Corps. C'est un composé organique aromatique insaturé.

Les premières matières colorantes provenaient de plantes (garance, indigo, consoude, etc.) ou Même les animaux (carmin). Actuellement, presque tous Les colorants utilisés est un dérivé des hydrocarbures contenus dans le goudron Charbon[36]. Dans notre étude, nous avons choisi deux colorants (Azorubine, Rhodamine B) comme modèle représentatif des polluants organiques.



**Figure II.6:** Les colorants.

### II.3.2 Les types des colorants

Il y'a deux types de colorants: naturels et synthétiques.

#### ➤ *Colorants naturels*

Il n'existe qu'une dizaine de types de colorants naturels, issus de plantes, de fruits, arbres, lichens, insectes ou mollusques, par des procédés simples, comme Chauffage ou broyage[37].

#### ➤ *Colorants synthétiques*

Les propriétés des colorants synthétiques peuvent être adaptées à leur utilisation. Tous ces colorants sont principalement synthétisés à partir de produits pétroliers, tel le benzène et ses dérivés (toluène, naphtalène, xylène et anthracène)[38]. Ils sont de plus en plus utilisés pour la coloration et Par rapport aux colorants naturels, leurs couleurs sont plus adaptées aux textiles[39].

### II.4. Polluant organique

Les polluants organiques sont des substances chimiques ayant un impact significatif sur l'environnement et la santé humaine. Les composés organiques :-sont légers s'empoisonnent dans l'environnement, -peuvent s'accumuler dans les tissus vivants, -se déplaçant sur de longues distances. Ici sont des exemples spécifiques de sources d'eau sûres ou humaines des radiations [40] .

## Chapitre II : Charbon actif et colorant

---

Les polluants organiques peuvent provenir de différentes sources dont les industries, l'agriculture, les ménages et les sources naturelles. La combustion de la biomasse, l'incinération des déchets, l'utilisation des pesticides et des différents produits chimiques dans l'industrie, l'agriculture et à domicile [41].

Les colorants chimiques sont une de ces sources à mesure qu'ils sont fréquemment utilisés dans les industries textiles, alimentaires, cliniques et cosmétiques, une fois déversés dans l'environnement, les colorants sont un contaminant organique [42].

### II.4.1 Types de polluants organiques

Voici quelques catégories principales :

#### 1. Hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP)

- Proviennent de la combustion incomplète du bois, du charbon, du pétrole, etc.
- Exemples : benzo[a]pyrène
- Cancérogènes connus.

#### 2. Pesticides organiques

- Utilisés en agriculture (parfois interdits aujourd'hui).
- Exemples : DDT, lindane.

#### 3. Solvants organiques volatils (COV)

- Émis par les peintures, colles, carburants...
- Exemples : benzène, toluène, formaldéhyde.

#### 4. Polluants organiques persistants (POP)

- Très stables, résistent à la dégradation.
- S'accumulent dans les chaînes alimentaires.
- Exemples : PCB (polychlorobiphényles), dioxines, furanes.



**PARTIE  
EXPÉRIMENTALE**

### III.1. Généralité

La mission de notre étude porté sur l'élimination des colorants textile qui sont le Rhodamine B et Azorubine sur un charbon actif préparé au laboratoire.

Dans ce chapitre, nous présentons les résultats de l'adsorption des colorants, dans un milieu aqueux. On commence par l'étude de l'influence de certains paramètres tels que : la masse de l'adsorbant, le pH de la solution ,le temps de contact et la température sur le taux d'adsorption du charbon actif utilisé dans cette étude, puis on appliquons de différents modèles pour la description des résultats expérimentaux des isothermes, cinétiques d'adsorption et l'étude thermodynamique sur l'équilibre d'adsorption.

### III.2. Caractéristiques des molécules à étudiées

#### III.2.1. Colorant Rhodamine B

##### III.2.1.1 Fiche d'identité

Tableau III.1 : Quelque caractéristique de RhodamineB.

<i>Formule chimique</i>	$C_{28}H_{31}ClN_2O_3$
<i>Masse molaire</i>	479,02 g/mol (forme chlorhydrate) .
<i>Apparence</i>	Poudre cristalline rouge-rose.
<i>Solubilité</i>	Très soluble dans l'eau et dans l'éthanol.

##### III.2.1.2 L'utilisation

Le Rhodamine B est un colorant fluorométrique utilisé dans la recherche scientifique, le traçage hydrologique , l'imagerie en biologique et la teinture industrielle en raison de ses propriétés photo-physiques exceptionnelles et de sa forte solubilité.

#### III.2.2 Colorant azorubine

##### III.2.2.1 Fiche d'identité

Tableau III.2: Quelque caractéristique d'azorubine

<i>Formule chimique</i>	$C_{37}H_{34}N_2Na_2O_9S_3$
<i>Masse molaire</i>	792,84 g/mol
<i>solubilité</i>	Très soluble dans l'eau, peu ou pas soluble dans l'alcool

##### III.2.2.2 L'utilisation

- **Industrie alimentaire:** boissons, bonbons, desserts, glaces, etc.
- **Cosmétique:** shampoing, savons, bains moussants, maquillage.

**Pharmaceutique:** enrobage de comprimé, sirops.

➤ **Autres:** colorants pour encres, bulles, etc.

### III.3 Spectrophotométrie UV-Vis

La spectrophotométrie UV-Visible est une technique utilisée pour analyser l'absorbance des substances dans les régions ultraviolette (200-400 nm) et visible (400-800 nm) du spectre électromagnétique.



**Figure III.1:** Spectrophotomètre UV visible.

Dans notre cas, afin de doser en spectroscopie U.V-visible, il a fallu d'abord réaliser une expérience préliminaire qui consiste à mesurer la densité optique (DO) ou absorbance de la solution puisque cette expérience consistait à diviser une série des solutions de concentrations connus, appelées solutions étalons; ce traçage permet en effet de réaliser la courbe ou droite d'étalonnage  $A=f(C)$ , utilisée pour déterminer la concentration de solutions inconnues, à partir des mesurages de A.

#### ➤ principe

Lorsqu'un faisceau de lumière UV ou visible traverse une solution, il interagit avec des molécules qui absorbent certaines longueurs d'onde spécifiques de la lumière. Cette adsorption dépend de la concentration de la substance selon la loi de Beer-Lambert:

$$A = \log \frac{I_0}{I} = \log T = \epsilon l C \dots\dots\dots(10)$$

Avec:

**T** : Transmittance

**I<sub>0</sub>** : Intensité du faisceau après traversée de la cellule de référence.

**I** : Intensité du faisceau après traversée de la cellule de mesure.

**C** : Concentration de la substance en solution dosé

**l**: Trajet optique chemin optique (cm)

**ε** : coefficient d'extinction molaire

### III.3.1 Détermination de la longueur d'onde maximale

**Tableau III.3:** Valeurs de  $\lambda_{\max}$  des colorants utilisé

Colorants	$\lambda_{\max}$ (nm)
Azorubine	515
Rhodamine b	552,5

### III.3.2 Préparation de solution mère

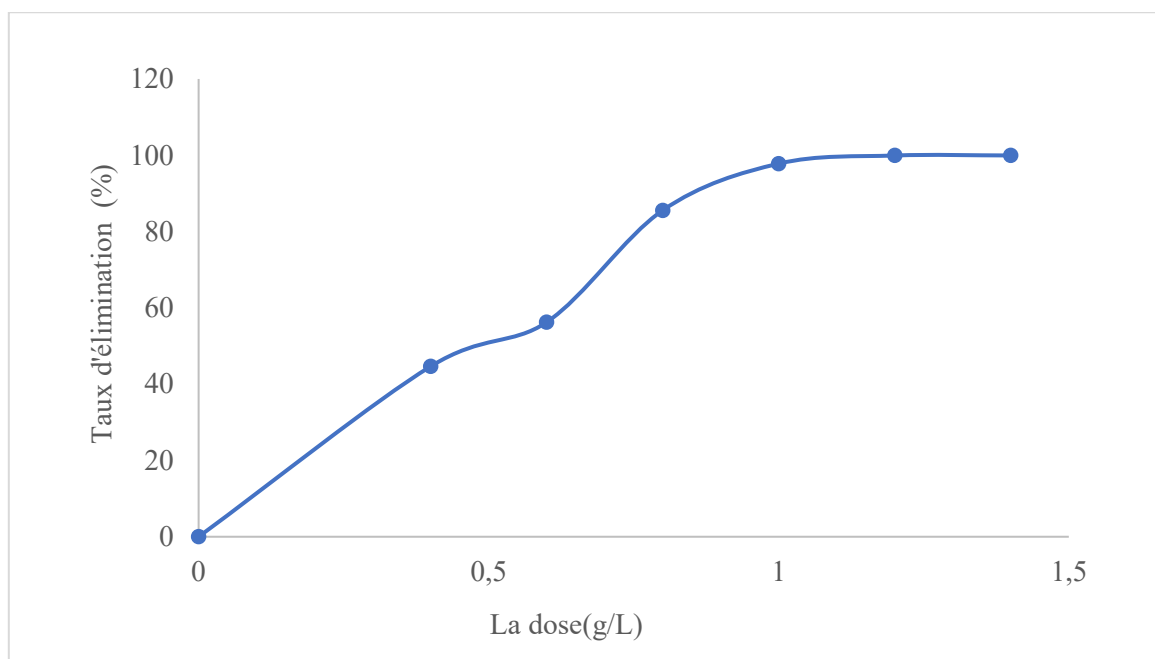
En utilisant une balance analytique et une spatule, nous avons pesé dans une fiole jaugée de 500 mL, 0,5 g de colorant ( chaque colorant dans une fiole séparé) et compléter avec l'eau distillé jusqu'au trait de jauge. La concentration correspondante est de 1000 mg/L. À partir de la solution mère, nous avons réalisé l'ensemble des protocoles expérimentaux de cette étude

### III.4. Les différents paramètres d'adsorption

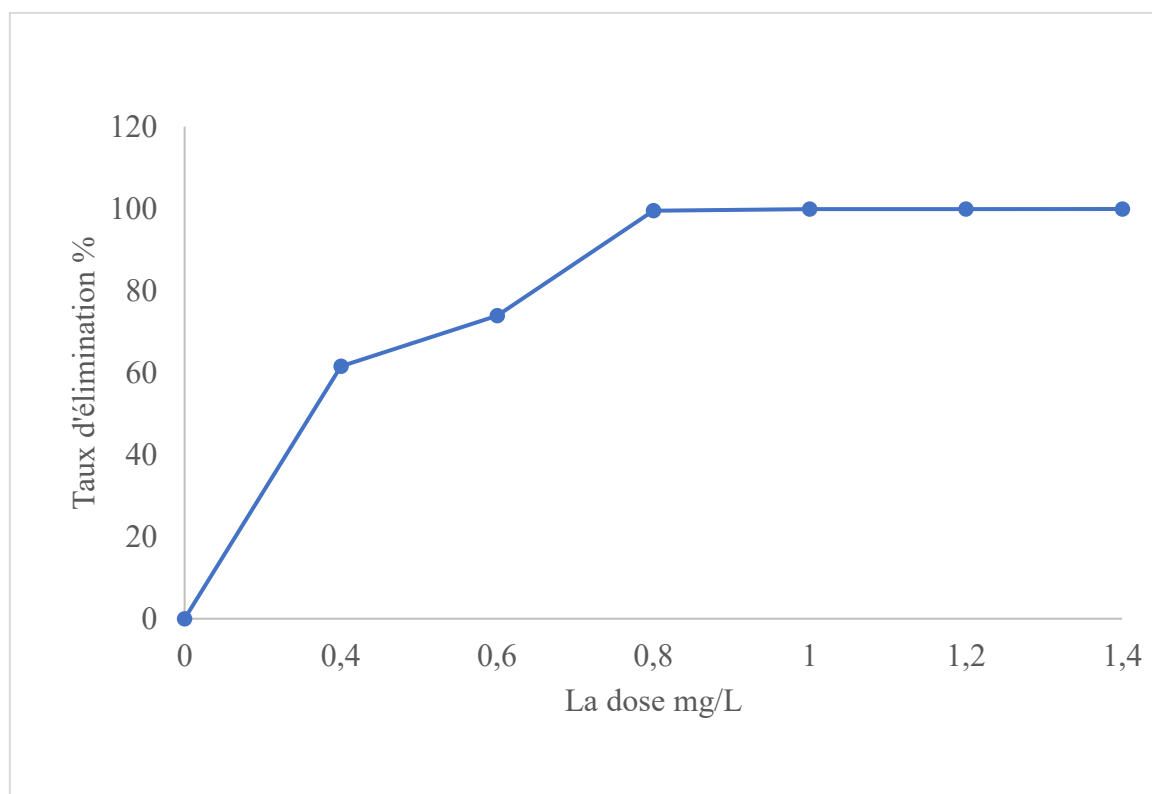
Le rendement (taux) d'adsorption R % montre l'efficacité du procédé de l'élimination du colorant par adsorption sur charbon actif.

#### III.4.1 Effet de dose

L'influence de la masse d'adsorbant a été étudiée en agitant 25 ml de solution de Rhodamine b à 80 mg/l et de Azorubine à 80 mg/l. On ajoute dans une série de béchers des quantités croissantes de notre charbon actif, soit 0,01g ; 0,015 g ; 0,02g ; 0,025 g ; 0,03 g et 0,035 g respectivement... Ensuite agité pendant une période de 30 min et 90 min et 120 min respectivement, puis centrifugé pendant 15 min pour deux fois et analysé à l'aide d'un spectrophotomètre. Résultats obtenus sont représentés graphiquement sur Les figures (III.2) et (III.3).



**Figure III.2:** Effet de la dose de l'adsorbant sur l'adsorption du Rhodamine B.



**Figure III.3:** Effet de la dose de l'adsorbant sur l'adsorption d'acide Rouge 14.

### *D'après les figure( III.2 ) on observant :*

➤ La courbe commence à se stabiliser à partir de 1 g/L, où le taux d'élimination est proche de 97 %.

➤ Après ce point, même si la dose augmente (jusqu'à 1,4 g/L), le taux d'élimination reste presque constant.

Donc: le point optimale (dose optimale ) = 0,8 g/L, cela signifie qu'il atteindra la meilleur équilibre entre l'efficacité de l'élimination et l'économie de matière. Alors on prend la valeur de masse 0 ,025g.

### *D'après les figure( III.3 ) on observant :*

➤ La courbe commence à se stabiliser à partir de 0,8g/L, où le taux d'élimination est proche de 99 %.

➤: le point optimale (dose optimale ) = 0,8 g/L , cela signifie qu'il atteindra la meilleur équilibre entre l'efficacité de l'élimination et l'économie de matière. Alors on prend la valeur de masse 0,02g.

### **III.4.2. Effet de pH de solution**

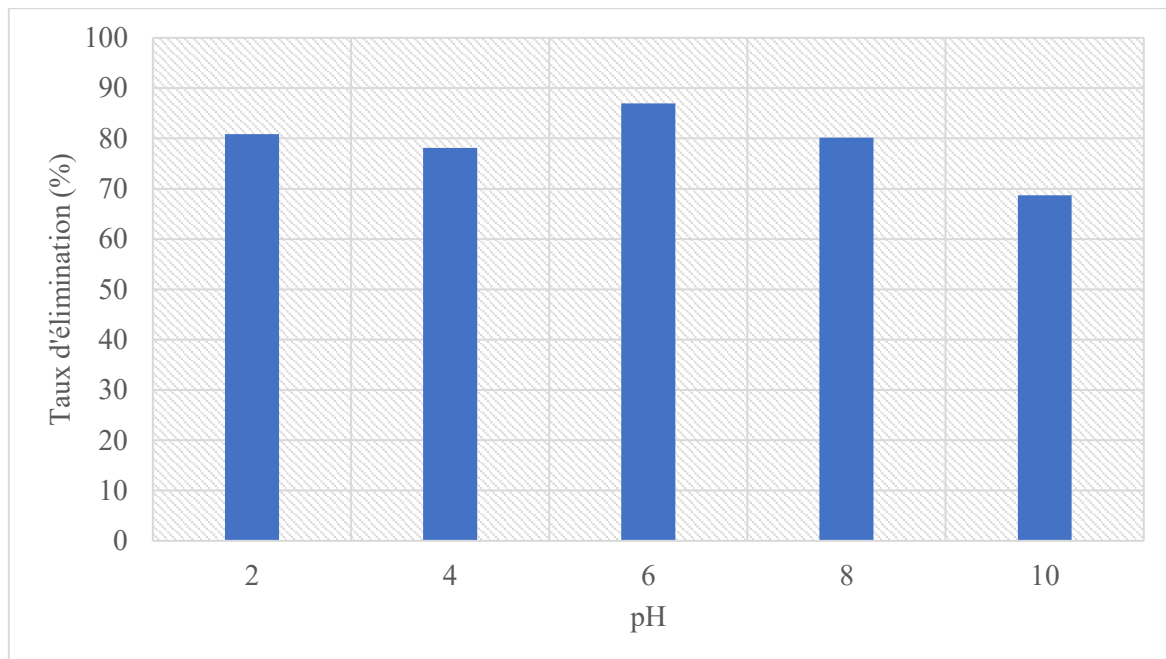
La pH ( potentiel hydrogène ) est une mesure qui indique l'acidité ou la basicité (alcalinité) d'une solution aqueuse. Il est exprimé sur une échelle logarithmique allant de 0 à 14, il est généralement divisé en trois:

➤  $\text{pH} < 7 \Rightarrow$  solution acide.

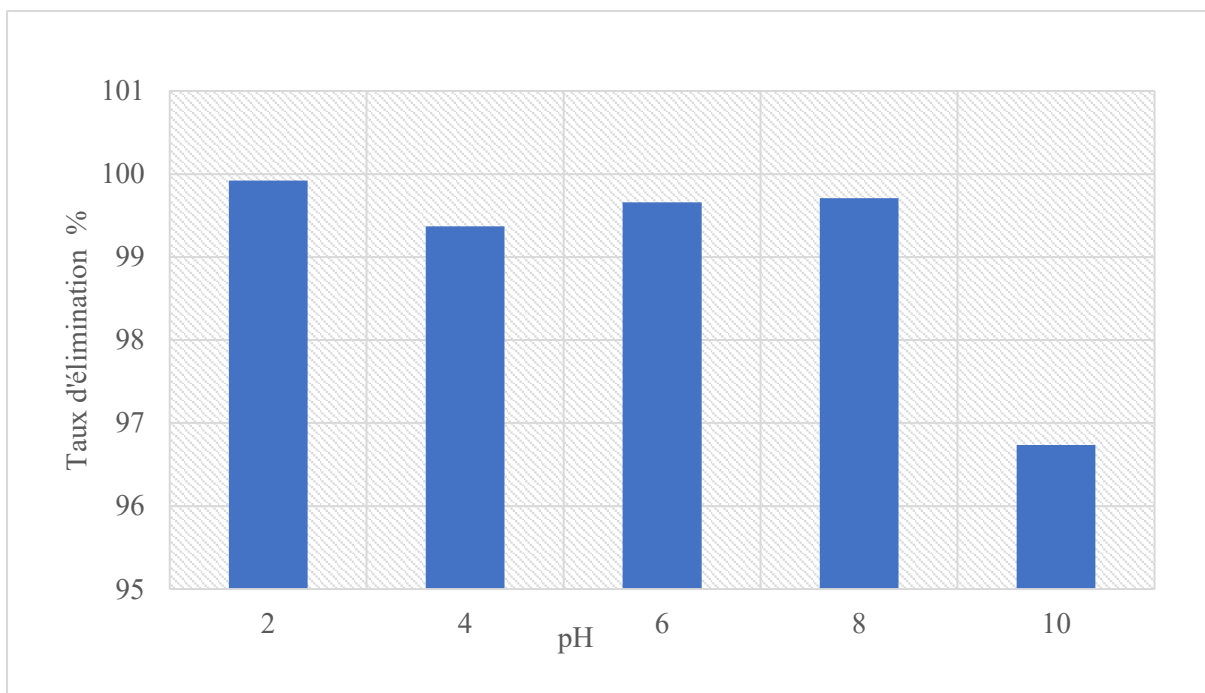
➤  $\text{pH} = 7 \Rightarrow$  Solution neutre.

➤  $\text{pH} > 7 \Rightarrow$  Solution basique.

Dans notre étude on vas étudier l'effet de ce dernier sur la quantité adsorbée du Rhodamine B et acide Rouge 14 par charbon actif. Les étapes des expériences dictent que dans une série d'errals on introduit 25 mL de solution du Rhodamine B (80 mg/L) et du acide Rouge 14 (100 mg/L) de pH différents 2 ;4 ; 6 ; 8 et 10 ( $\text{pH} \pm 0,1$ ) ce dernier est ajusté par l'ajout de HCl et NaOH (0,1 N), L'ensemble est agité , filtré puis analysé par le spectrophotomètre pour déterminer la concentration d'équilibre de chaque échantillon. Les résultats de la variation du taux d'adsorption en fonction du pH représenté graphiquement dans les figures (III.4) et (III.5).



**Figure III.4:** Effet de pH de solution pour le Rhodamine B sur l'adsorption



**Figure III.5:** Effet de pH de solution pour le Red 14 sur l'adsorption

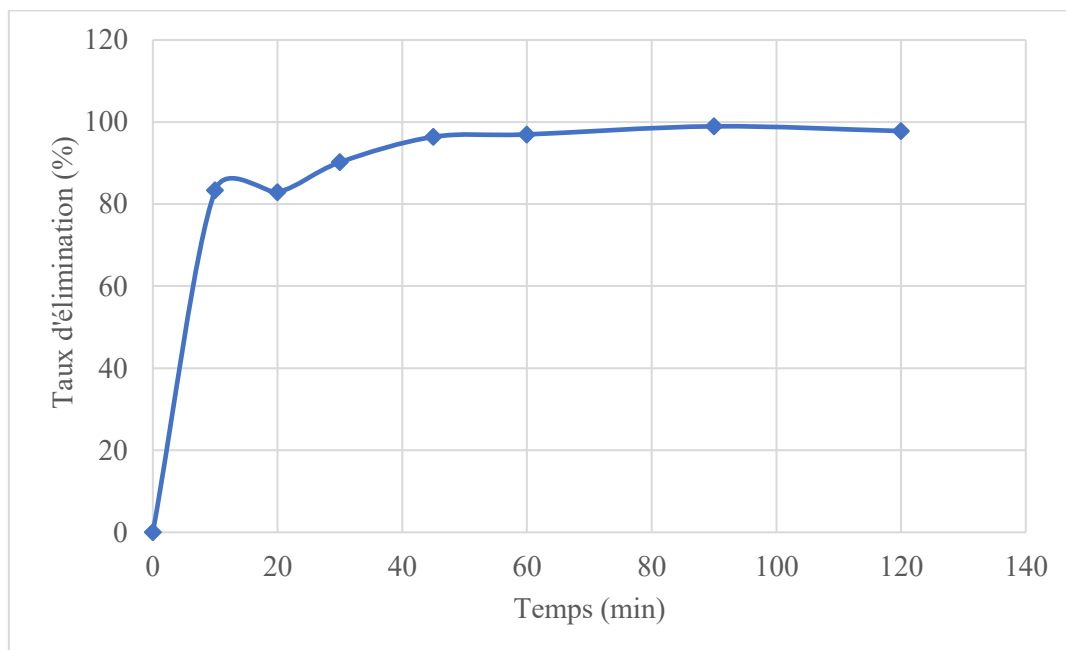
Selon les illustration il est remarqué que le taux d'élimination le plus élevé est obtenu généralement à un pH de solution pour Rhodamine B et à un pH acide pour acide Rouge 14, et

### Chapitre III : Partie expérimentale

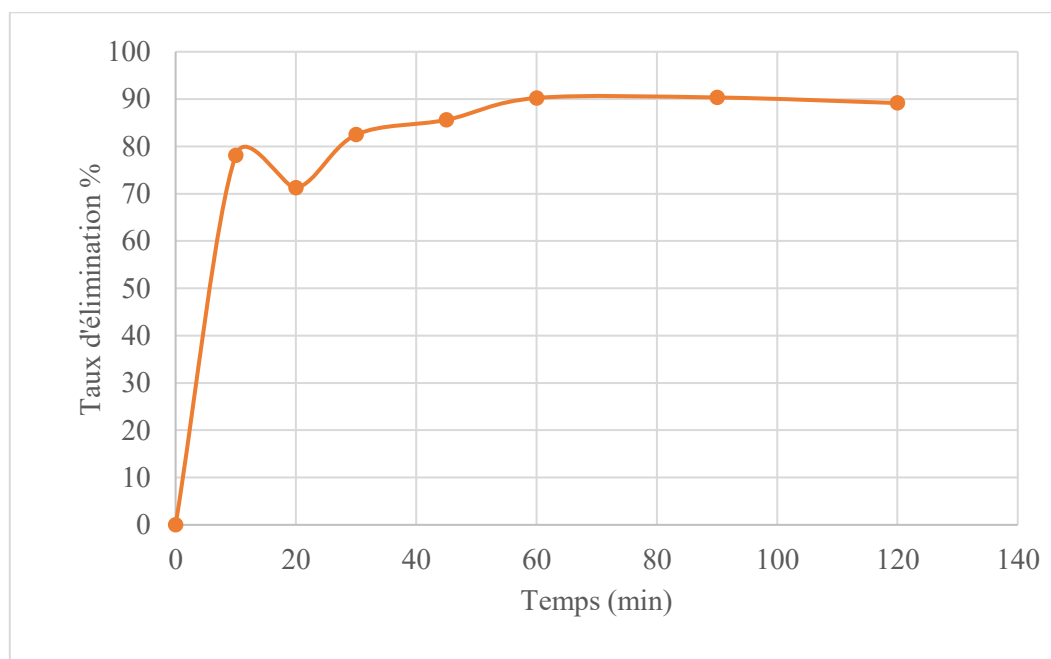
que le taux d'élimination atteint son maximum à un pH de 6 pour Rhodamine B et à un pH de 2 pour acide Rouge 14. On établira ce pH en utilisant l'isotherme d'adsorption.

#### III.4.3 Effet de temps

L'étude cinétique de l'adsorption d'un colorant sur un charbon actif nous permet d'examiner l'influence du temps de contact sur sa rétention. Les échantillons sont prélevés à des intervalles de temps bien définis (10 ; 20 ; 30 ; 45 ; 60 ; 90 et 120 min). Les figures (III.6) et (III.7) montrent l'influence du temps de contact sur le rendement d'adsorption des deux colorants à 80 mg/L pour le Rhodamine B et à 150 mg/L pour le acide Rouge 14, ces expériences réalisées à température ambiante, la masse de charbon actif est constante.



**Figure III.6:** Effet de temps de solution pour le Rhodamine b sur l'adsorption



**Figure III.7:** Effet de temps de solution pour l'acide Rouge 14 sur l'adsorption

D'après les résultats de figure III.6 et III.7, nous avons remarqué que le taux d'élimination du Rhodamine B et acide rouge 14 avec l'évolution de temps. Après 60 min nous avons remarqué qu'il y a formation d'un palier de saturation et que le taux d'élimination reste presque stable pour les deux colorants donc le temps 60 min est considéré comme temps optimal pour cette application. L'expérience a été réalisée pour deux autres concentrations pour s'assurer que le temps d'équilibre est valable même si les concentrations changent.

#### III.4.4 Isotherme d'adsorption

Dans une série de béchers contenant 25 mL de solution à pH = 2 avec une concentration qui varient entre 60 mg/L à 300 mg/L et 0,025 g de charbon, l'ensemble est agité pendant un temps de 1h, puis centrifuger et analyser.

La quantité  $q_e$  (masse adsorbée par gramme d'adsorbant) est déterminée par l'équation suivante:

$$q_e = \frac{C_0 - C_e}{1000 \times m} \times V \dots\dots\dots(11)$$

$C_0$  : Concentration initial de l'adsorbat (mg/L).

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

m : Masse d'adsorbant (g) ; V : Volume d'adsorbat (ml) ; 1000 : Coefficient de conversion.

### III.4.4.1 Les modèles d'isothermes d'adsorption

Il existe plusieurs modèles d'isothermes d'adsorption, les plus utilisés étant : Langmuir, Freundlich et Temkin.

#### A) Modèle de Langmuir

Ce modèle basé sur l'adsorption sur une surface homogène avec une capacité d'adsorption finie.

$$L'équation de Langmuir : \frac{C_e}{q_e} = \frac{C_e}{b} + \frac{1}{b \times K_L} \dots\dots\dots(12)$$

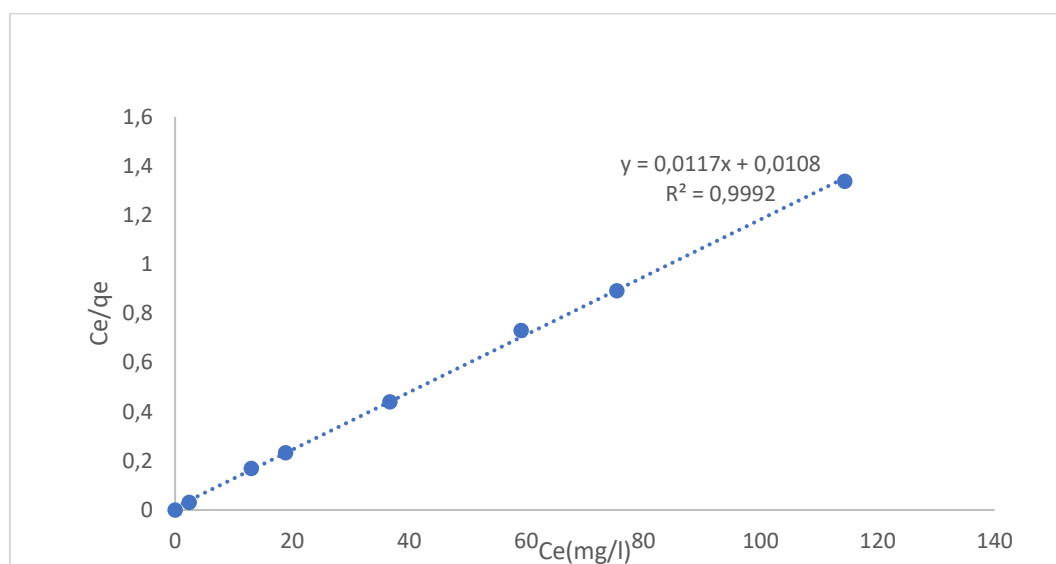


Figure III.8 : Le modèle de Langmuir linéarisée pour l'adsorption du Rhodamine B

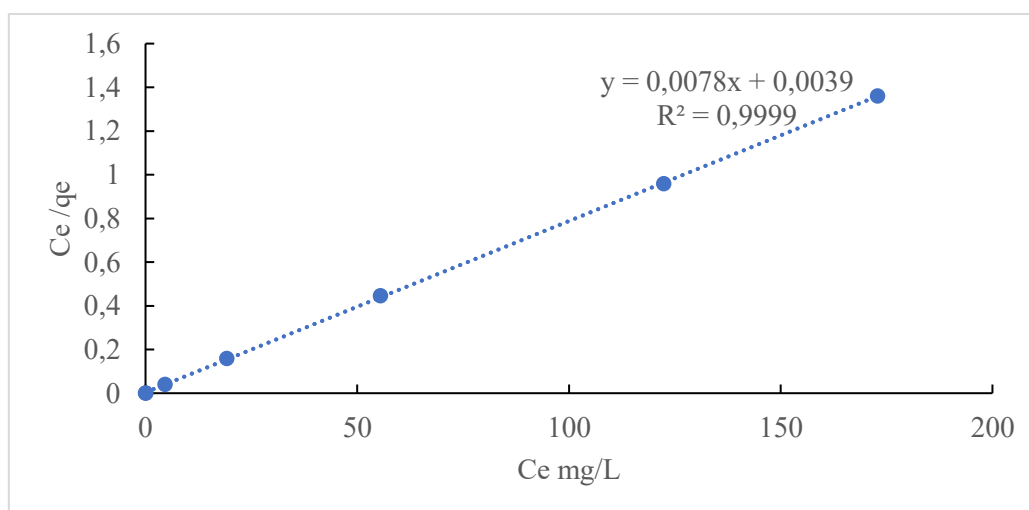
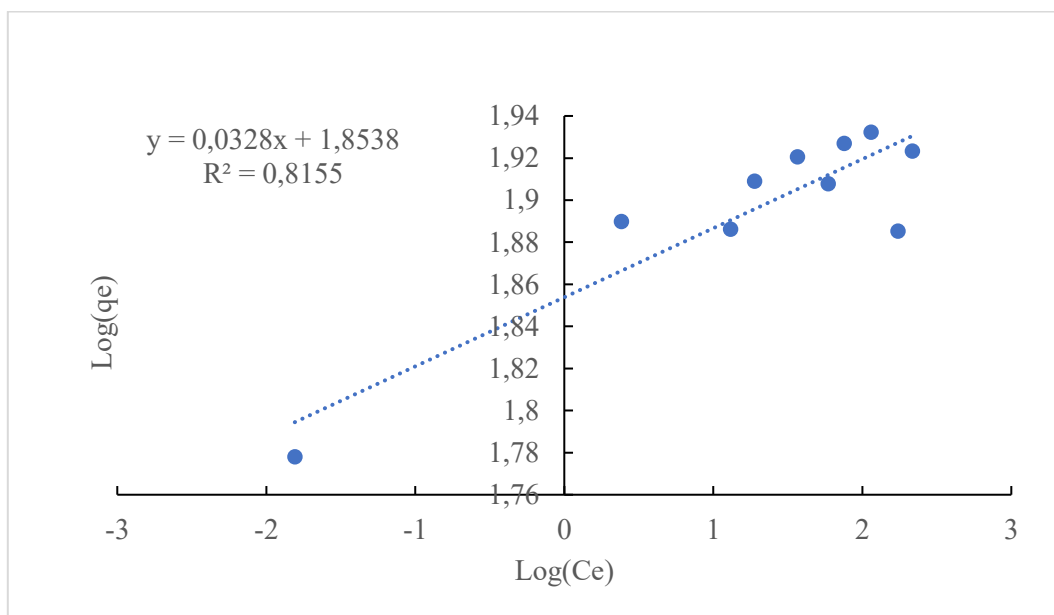


Figure III.9 : Le modèle de Langmuir linéarisée pour l'adsorption d'acide rouge 14

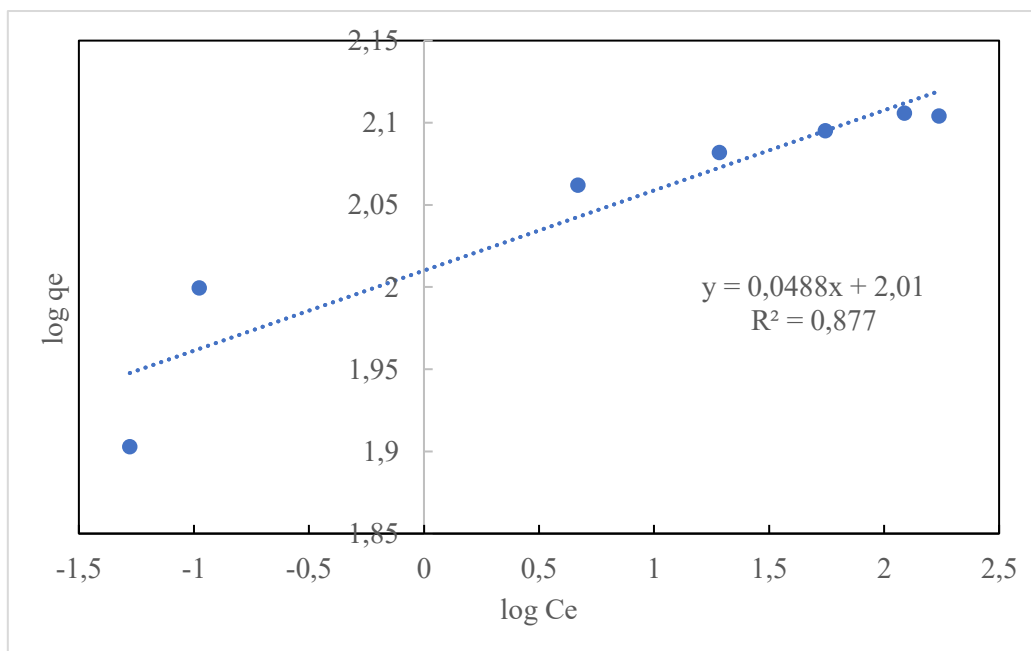
**B) Modèle de Freundlich**

Modèle empirique qui s'applique à une adsorption sur des surfaces hétérogènes et ne suppose pas de saturation.

➤ L'équation de Freundlich :  $\log q_e = \frac{1}{n} \log C_e + \log K_F \dots \dots \dots (13)$



**Figure III.10 :** Le modèle de Freundlich linéarisée pour l'adsorption du Rhodamine B.

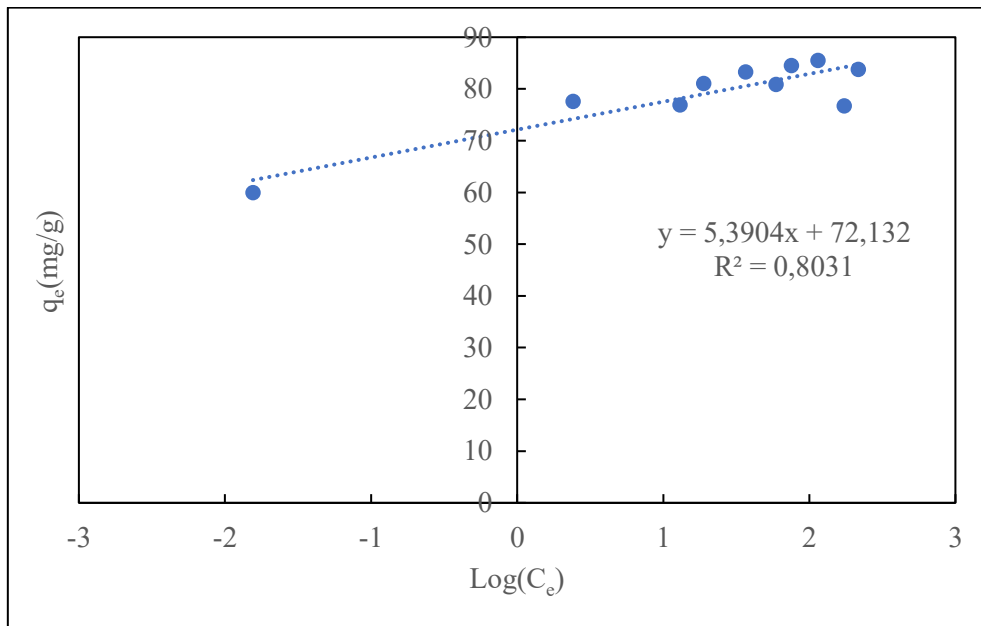


**Figure III.11 :** Le modèle de Freundlich linéarisée pour l'adsorption du d'Acide Rouge 14

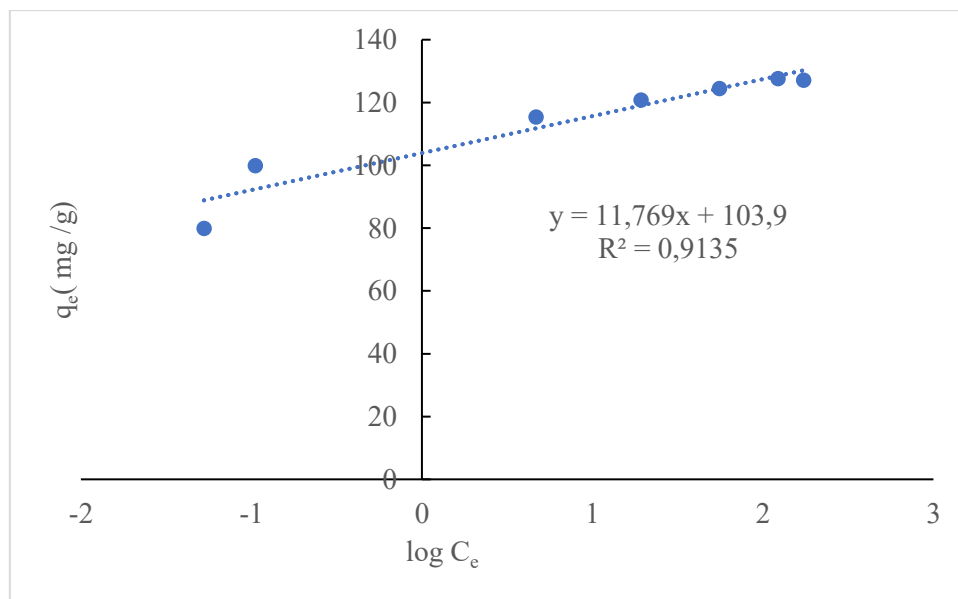
**C) Modèle de Temkin**

Prend en compte les interactions entre les molécules adsorbées et une distribution uniforme des énergies de liaison.

L'équation de Temkin :  $q_e = B_T \log C_e + B_T \log K_T \dots \dots \dots (14)$



**Figure III.12 :** Le modèle de Temkin linéarisée pour l'adsorption du Rhodamine B.



**Figure III.13 :** Le modèle de Temkin linéarisée pour l'adsorption du d'acide rouge 14

### Chapitre III : Partie expérimentale

**Tableau III.4 :** Résultats obtenue d'isotherme d'adsorption de Rhodamine b pour les trois modèles

<b>Modèle de Langmuir</b>		
<b>b</b>	<b>K<sub>L</sub> (L/mg)</b>	<b>R<sup>2</sup></b>
85,47	1,0833	0,99
<b>Modèle de Freundlich</b>		
<b>n</b>	<b>K<sub>F</sub> (L/mg)</b>	<b>R<sup>2</sup></b>
30,48	71,41	0,8155
<b>Modèle de Temkin</b>		
<b>B<sub>T</sub> (J/mol)</b>	<b>K<sub>T</sub> (L/mg)</b>	<b>R<sup>2</sup></b>
5,39	2,39 × 10 <sup>13</sup>	0,8031

**Tableau III.5 :** Résultats obtenue d'isotherme d'adsorption de Rhodamine b pour les trois modèles

<b>Modèle de Langmuir</b>		
<b>b</b>	<b>K<sub>L</sub> (L/mg)</b>	<b>R<sup>2</sup></b>
128,20	2,04	0,999
<b>Modèle de Freundlich</b>		
<b>n</b>	<b>K<sub>F</sub> (L/mg)</b>	<b>R<sup>2</sup></b>
20,49	102,32	0,877
<b>Modèle de Temkin</b>		
<b>B<sub>T</sub> (J/mol)</b>	<b>K<sub>T</sub> (L/mg)</b>	<b>R<sup>2</sup></b>
11,76	660,69 × 10 <sup>6</sup>	0,9135

À partir des résultats obtenus, après la modélisation des isothermes d'adsorption (Langmuir, Freundlich, Temkin), On observe que l'isotherme d'adsorption est simulée correctement par le modèle linéaire de Langmuir avec un coefficient de détermination de 0.99 pour les deux colorants.

### III.4.5 Thermodynamique d'adsorption

Le phénomène d'adsorption est toujours accompagné par un échange thermique, soit exothermique ou endothermique. La mesure de la chaleur d'adsorption est le principal critère qui permet de différencier entre la chimisorption et la physisorption. Les paramètres thermodynamiques, peuvent aussi être considérés comme des indicateurs précieux en prévoyant le comportement d'adsorption et dépendent fortement de la température [43]

**La relation thermodynamique de Gibbs-Helmholtz :**  $\Delta G^\circ = -R \times T \times \ln(K_d) \dots\dots (14)$

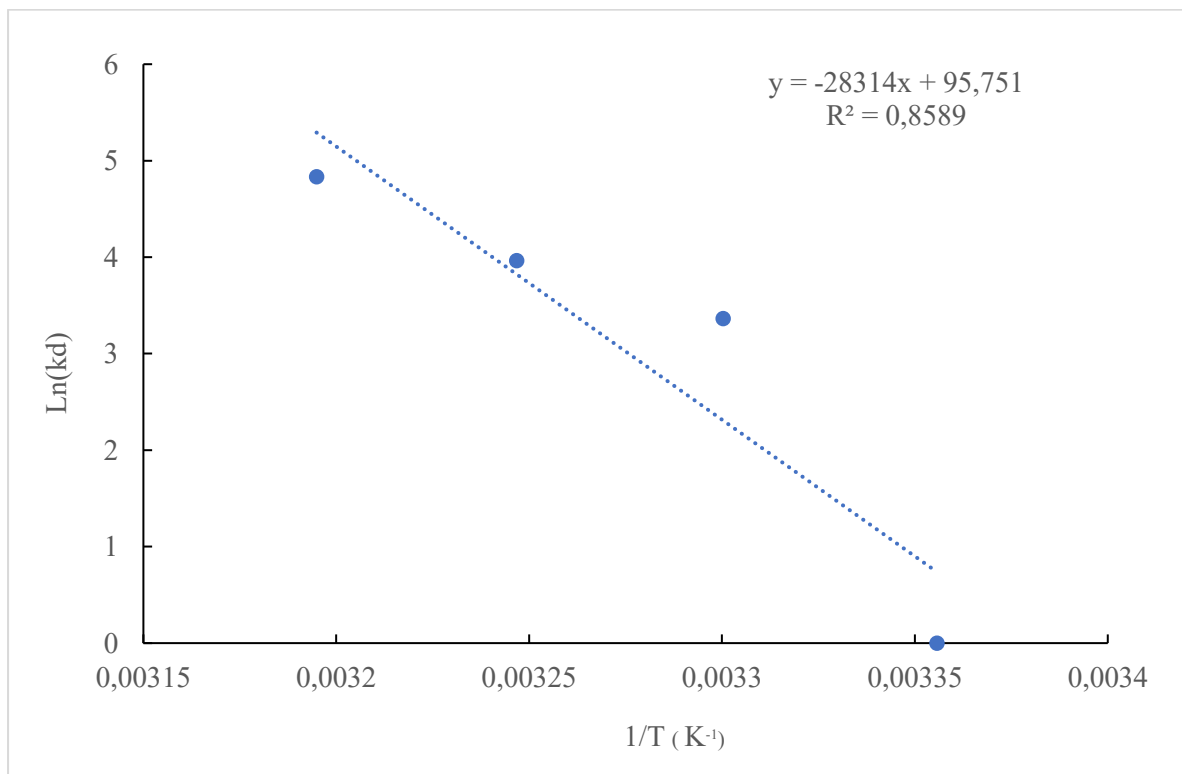
**La relation obtenue par intégration de Van 't Hoff :**  $\Delta G^\circ = \Delta H^\circ - T \times \Delta S^\circ \dots\dots (15)$

D'après les équations (1) et (2) on a :  $R \times T \times \ln(K_d) = -\Delta H^\circ + T \times \Delta S^\circ$

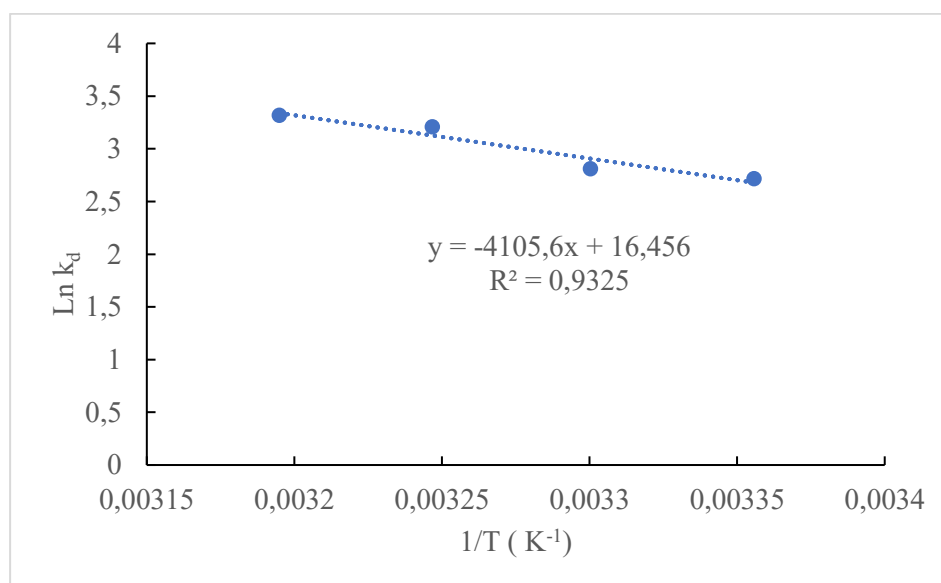
$$\ln K_d = -\left(\frac{\Delta H^\circ}{R \times T}\right) + \left(\frac{1}{R}\right) \Delta S^\circ \dots\dots\dots(16)$$

$$K_d = C_0 - C_{eq} / C_{eq} \dots\dots\dots(17)$$

Les résultats de ces mesures sont présentés dans la Figure III.14 et III.15



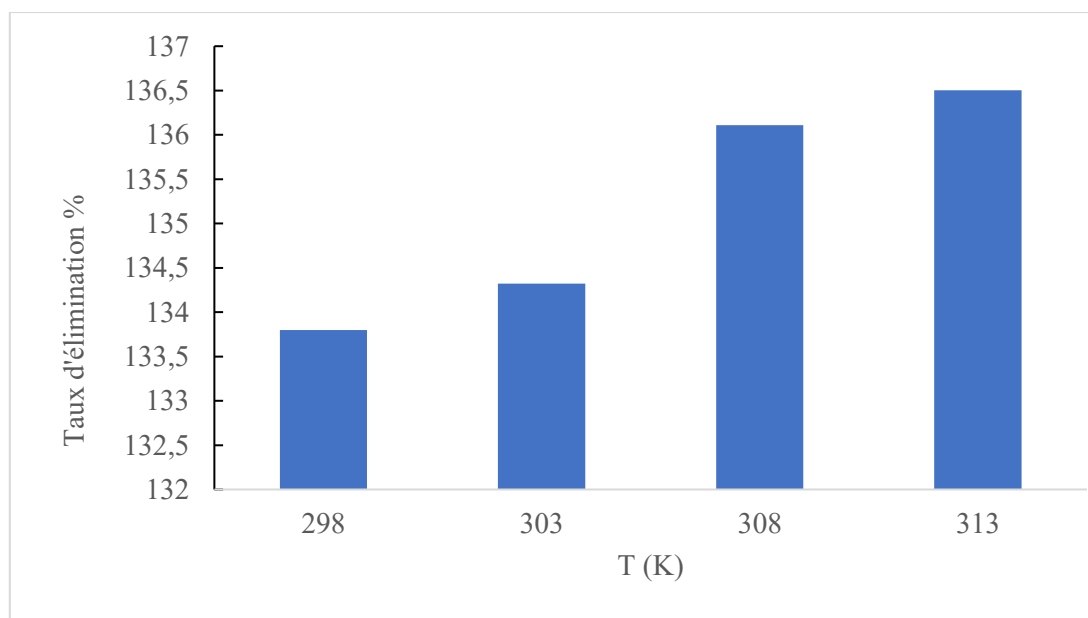
**Figure III.14 :** Variation de  $\ln k_d$  en fonction de  $1/T$  pour l'adsorption de Rhodamine B



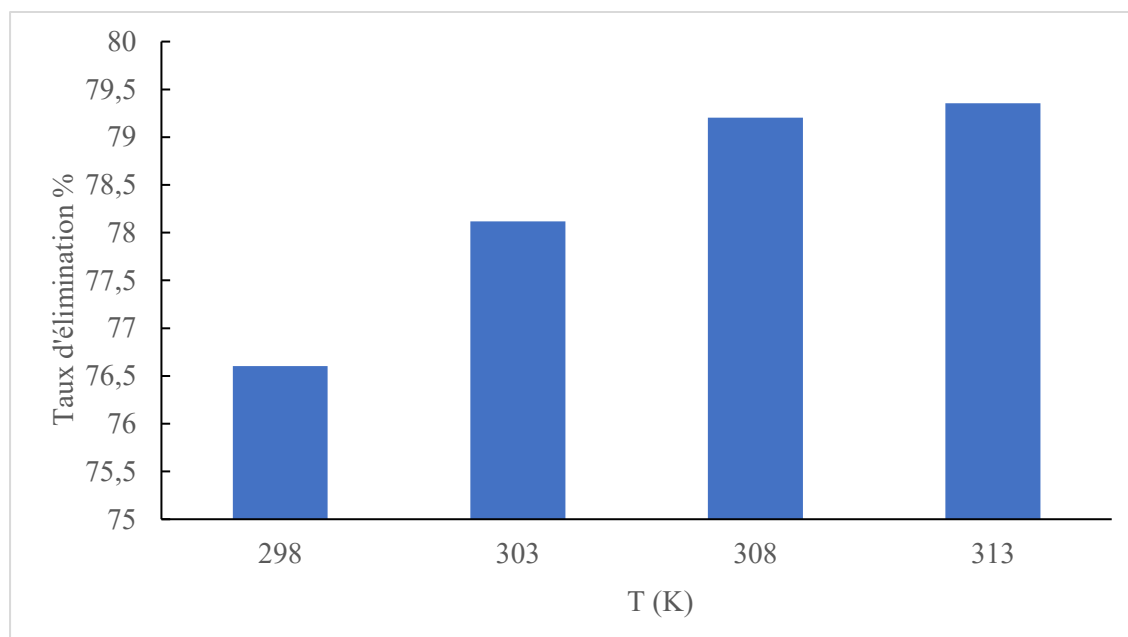
**Figure III.15 :** Variation de  $\ln k_d$  en fonction de  $1/T$  pour l'adsorption d'Acide Rouge 14.

#### III.4.5.1 Les paramètres de Thermodynamique d'adsorption

Les paramètres thermodynamiques sont calculés pour déterminer la nature du processus d'adsorption tels que l'enthalpie libre ( $\Delta G$ ), l'enthalpie ( $\Delta H$ ) et l'entropie libre ( $\Delta S$ ) sont calculées pour évaluer la faisabilité thermodynamique du processus d'adsorption et en confirmer la nature. Les résultats de ces mesures sont présentés dans la Figure III.16 ; III.17.



**Figure III.16 :** Variation du taux d'élimination d'acide rouge 14 en fonction de la température.



**Figure III.17** : Variation du taux d'élimination du Rhodamine b en fonction de la température

La Figure III.16 montre que le pourcentage d'élimination de l'Azorubine augmente avec l'augmentation de la température. Cette observation donne à croire que le processus d'adsorption de l'Azorubine sur l'adsorbant est de nature endothermique, c'est-à-dire il absorbe de la chaleur. La Figure III.17 on voit que lorsque la température est élevée on a une bonne adsorption.

A partir de l'effet de la température, on peut calculer les paramètres thermodynamique spécifiques au processus d'adsorption étudié: l'énergie libre ( $\Delta G$ ), L'enthalpie ( $\Delta H$ ) et l'entropie ( $\Delta S$ ).

### Chapitre III : Partie expérimentale

**Tableau III.6:** Les paramètres thermodynamiques de l'adsorption du deux colorants sur le charbon actif

<i>Adsorbat</i>	<i>Rhodamine B</i>				<i>Acide rouge 14</i>			
<b>Température (K)</b>	298	303	308	313	298	303	308	313
<b><math>\Delta G</math> (kJ.mol<sup>-1</sup>)</b>	-8,291	-9,979	-11,664	-11,349	-6,411	-7,091	-7,771	-8,451
<b><math>\Delta H</math> (kJ.mol<sup>-1</sup>)</b>	92,132				34,117			
<b><math>\Delta S</math> (KJ.mol<sup>-1</sup>)</b>	0,337				0,136			
<b>R<sup>2</sup></b>	0,959				0,9325			

. ***D'après ce tableau en observe que :***

L'adsorption est spontanée dans toutes les températures car les valeurs de  $\Delta G$  sont négatives ( $\Delta G < 0$ ) pour les deux colorants.

Le processus est endothermique car les valeurs de  $\Delta H$  sont positives ( $\Delta H > 0$ ), nécessite de la chaleur.

Les valeurs positives de  $\Delta S$  suggèrent que les molécules adsorbées à l'interface solide-liquide sont moins ordonnées.

On peut également noter, aussi que, l'augmentation de la température est accompagnée d'une diminution des valeurs de l'énergie libre, ce qui facilite la diffusion des molécules adsorbées vers les pores internes des particules adsorbants.

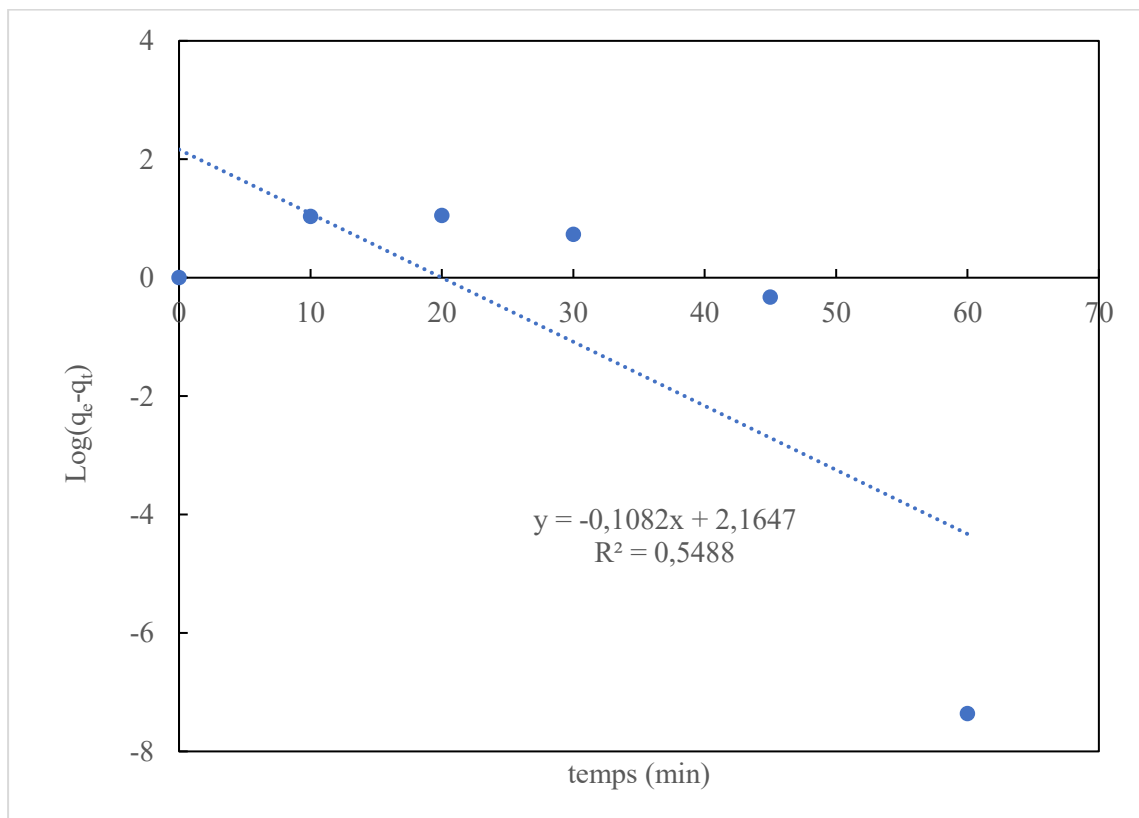
**III.4.6. Etudes cinétique d’adsorption des deux colorants sur charbon actif**

La cinétique d'adsorption du Acide Rouge 14 et Rhodamine B sur l’adsorbant a été suivie en appliquant les modèles de Lagergren (pseudo-premier et pseudo-deuxième ordre) et le modèle de diffusion intra particulaire.

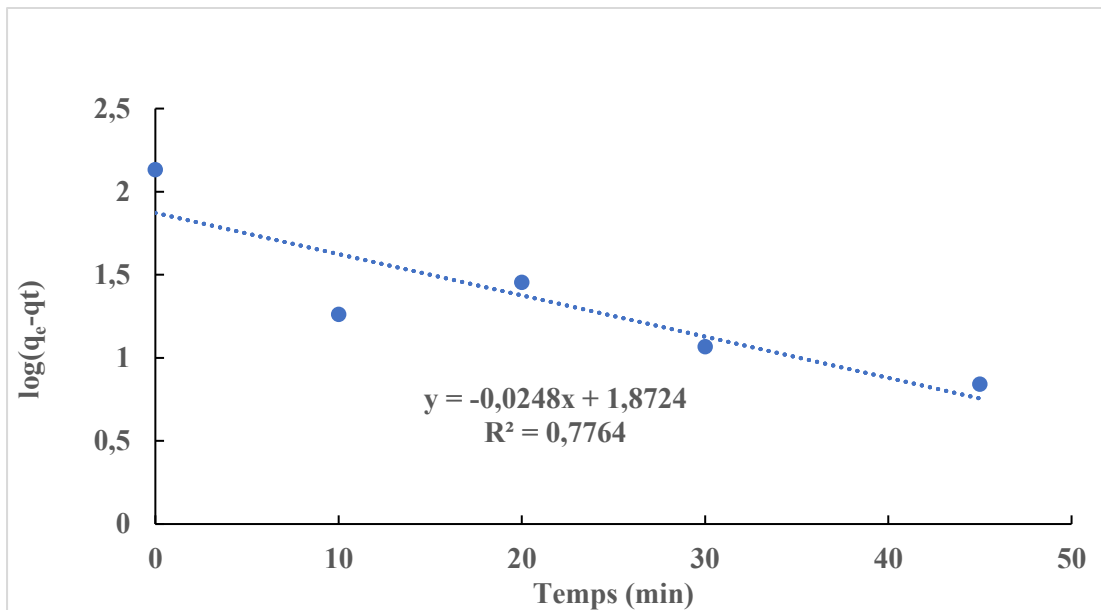
**III.4.6.1. Modèle de pseudo premier ordre**

Modèle cinétique du pseudo premier ordre peut être exprimé par l’équation suivante :

$$\log(q_e - q_t) = -k_1 \times t + \log q_e \dots \dots \dots (18)$$



**Figure III.18:** La forme linéaire du modèle cinétique du pseudo premier ordre pour le Rhodamine B.

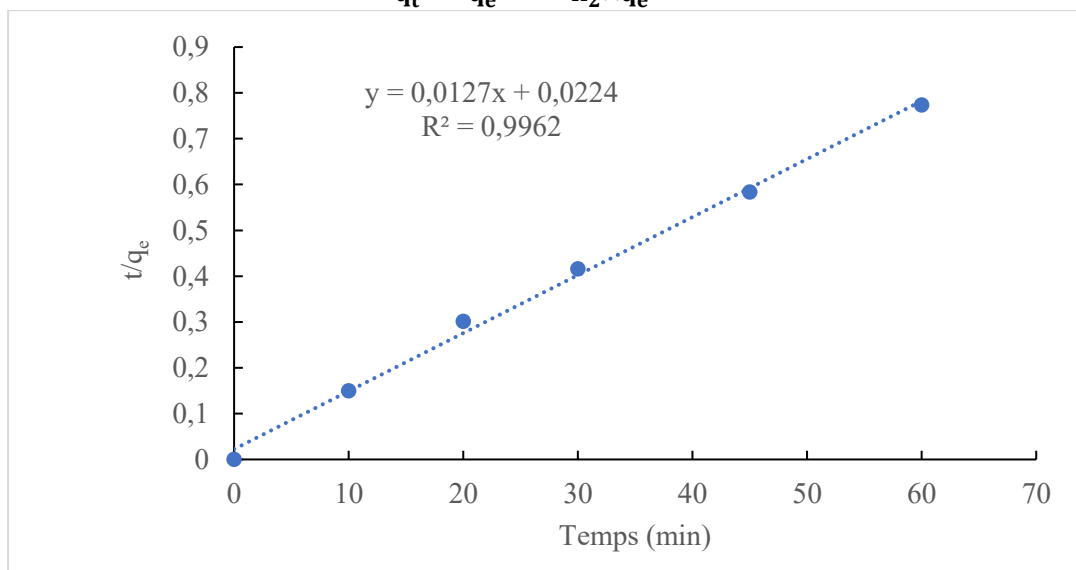


**Figure III.19:** La forme linéaire du modèle cinétique du pseudo premier ordre pour l'acide Rouge 14

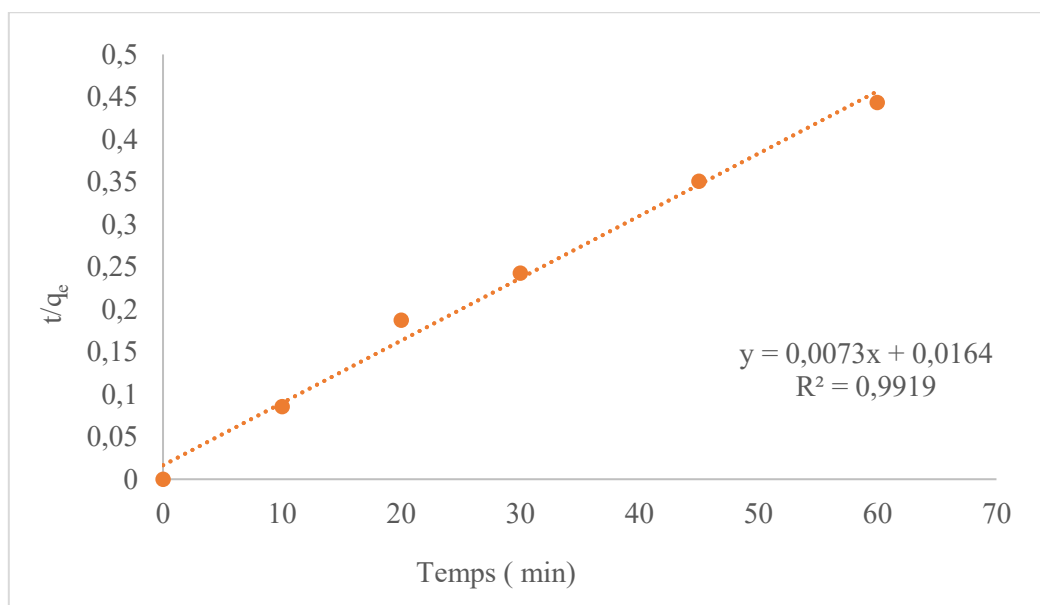
#### III.4.6.2. Modèle de pseudo deuxième ordre

Ce modèle peut être exprimé par l'équation de la forme suivante :

$$\frac{t}{q_t} = \frac{1}{q_e} t + \frac{1}{k_2 \times q_e^2} \dots\dots\dots(19).$$



**Figure III.20:** La forme linéaire du modèle cinétique du pseudo deuxième ordre pour le Rhodamine B



**Figure III.21:** La forme linéaire du modèle cinétique du pseudo deuxième ordre pour l'Acide Rouge 14

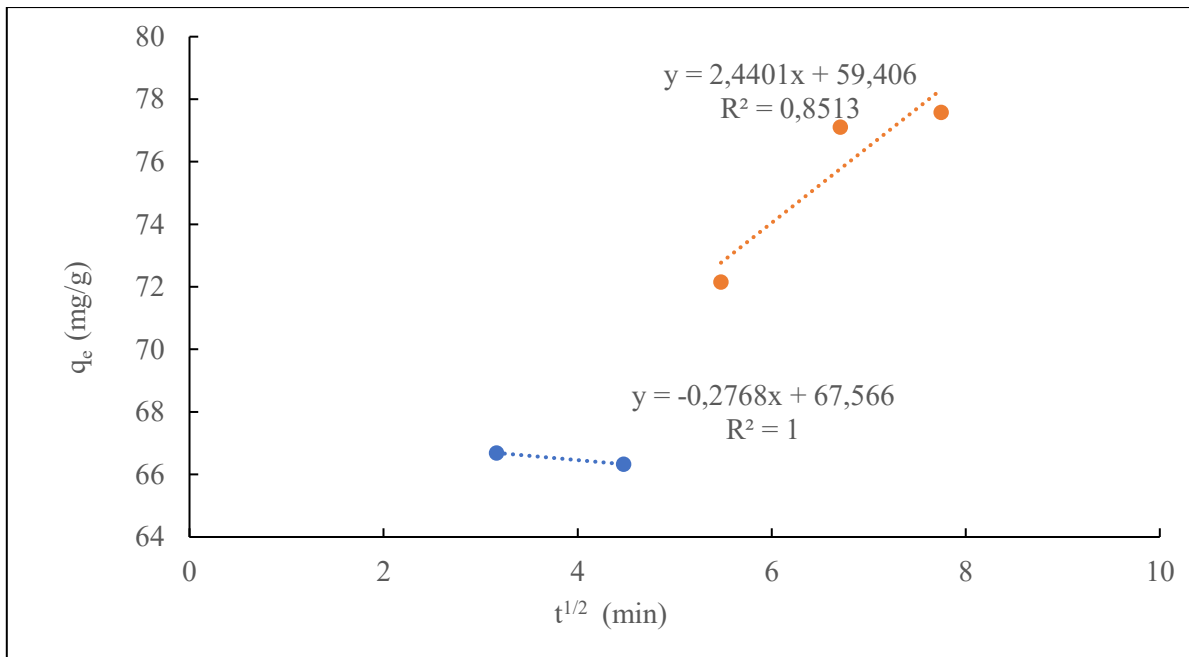
**Tableau III.7 :** Résultats obtenue de la cinétique d'adsorption de Rhodamine B de pseudo 1<sup>er</sup> ordre et 2<sup>ème</sup> ordre

<b>Rhodamine B</b>			
<b>Modèle cinétique de pseudo 1<sup>er</sup> ordre</b>			
<b>q<sub>e</sub> (exp) (mg/g)</b>	<b>q<sub>e</sub> (cal) (mg/g)</b>	<b>k<sub>1</sub> (min<sup>-1</sup>)</b>	<b>R<sup>2</sup></b>
77,58	18,71	0,14	0,5488
<b>Modèle cinétique de pseudo 2<sup>ème</sup> ordre</b>			
<b>q<sub>e</sub> (exp) (mg/g)</b>	<b>q<sub>e</sub> (cal) (mg/g)</b>	<b>k<sub>2</sub> (g.mg<sup>-1</sup>. min<sup>-1</sup>)</b>	<b>R<sup>2</sup></b>
77,58	78,74	0,016	0,9962
<b>Acide Rouge 14</b>			
<b>Modèle cinétique de pseudo 1<sup>er</sup> ordre</b>			
<b>q<sub>e</sub> (exp) (mg/g)</b>	<b>q<sub>e</sub> (cal) (mg/g)</b>	<b>k<sub>1</sub> (min<sup>-1</sup>)</b>	<b>R<sup>2</sup></b>
127,1	11,02	0,004	0,7767
<b>Modèle cinétique de pseudo 2<sup>ème</sup> ordre</b>			
<b>q<sub>e</sub> (exp) (mg/g)</b>	<b>q<sub>e</sub> (cal) (mg/g)</b>	<b>k<sub>2</sub> (g.mg<sup>-1</sup>. min<sup>-1</sup>)</b>	<b>R<sup>2</sup></b>
127,1	136,98	0,0004	0,9919

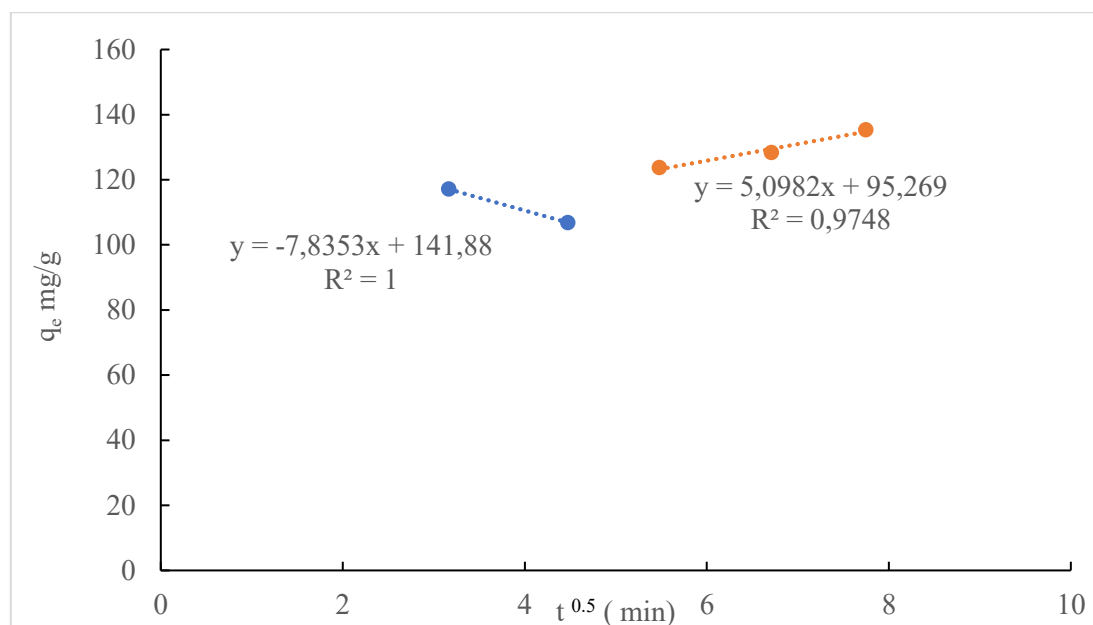
**III.4.6.3 Modèle cinétique diffusion intra-particulaire**

Ce modèle peut être exprimé par la relation suivante :

$$q_t = k_{int} \times t^{0,5} + C \dots \dots \dots (20)$$



**Figure III.22:** La forme linéaire du modèle cinétique de intra-particulaire d'adsorption de Rhodamine B



**Figure III.23:** La forme linéaire du modèle cinétique de intra-particulaire d'adsorption de d'acide Rouge 14

**Tableau III.8:** Résultats obtenue de la cinétique d'adsorption de Rhodamine B de diffusion intra-particulaire

<i>Rhodamine B</i>		
	<i>Étape 1</i>	<i>Étape 2</i>
<b>k<sub>int</sub> (mg. g<sup>-1</sup>.min<sup>-0,5</sup>)</b>	-0,2768	2,4401
<b>C (mg/g)</b>	67,566	59,406
<b>R<sup>2</sup></b>	1	0,8513
<i>Acide rouge 14</i>		
	<i>Étape 1</i>	<i>Étape 2</i>
<b>k<sub>int</sub> (mg. g<sup>-1</sup>.min<sup>-0,5</sup>)</b>	-7,8353	5,0982
<b>C (mg/g)</b>	141,88	95,269
<b>R<sup>2</sup></b>	1	0,9748

Le meilleur modèle établi pour l'étude de la cinétique d'adsorption est choisi selon le facteur de corrélation  $R^2$ . Tant plus que le facteur est élevé, tant plus le modèle est favorable à l'étude du processus d'adsorption.

D'après les résultats obtenus, on remarque que l'application du modèle de pseudo premier ordre donne un coefficient de détermination ( $R^2$ ) bas dans l'adsorption des deux colorants. Par contre le coefficient de détermination ( $R^2$ ) du pseudo second ordre est élevé. Nous voyons aussi que les quantités adsorbées calculées par ce modèle sont presque proches à des quantités adsorbées expérimentalement. Donc on peut déduire que le modèle de pseudo-second-ordre est celui qui décrit mieux le processus d'adsorption des deux polluants étudiés sur l'adsorbant.

La diffusion intraparticulaire est la seule étape de contrôle du processus si le graphique de  $q_t$  en fonction de  $t^{1/2}$  passe par l'origine, c'est-à-dire si  $C$  est égal à 0. Si ce n'est pas le cas, le mécanisme s'accompagne d'autres étapes. Les valeurs de modèle de diffusion intraparticulaire  $k_{ind}$ ,  $C$  et  $R^2$ , sont regroupées dans le tableau III.6. A partir de la figure III .23 et la figure III .23 , il est facile de voir que la diffusion intra-particulaire est une étape non négligeable dans le processus d'adsorption pour l'élimination du Rhodamine B et acide Rouge 14. La régression est presque linéaire, mais ne passe pas par l'origine, ce qui suggère que la diffusion intra particulaire n'est pas le seul mécanisme qui contrôle le processus d'adsorption du deux polluants étudiées, mais également d'autre modèle cinétique peut contrôler la vitesse d'adsorption. Cette observation confirme que le processus d'adsorption du deux colorants étudiées se déroule en plusieurs étapes, impliquant à la fois une adsorption sur la surface externe et une diffusion vers l'intérieur du matériau adsorbant

## Conclusion Générale

---

L'objectif de notre travail est l'élimination des polluants organiques par l'adsorption sur un charbon actif préparé dans laboratoire et d'étudier l'impact des différents paramètres tels que la dose, le temps de contact, le pH de la solution et du deux colorants et la température avec la modélisation des isothermes et la cinétique d'adsorption.

***D'après l'étude expérimentale, nous pouvons conclure les résultats suivants :***

- La dose idéale du charbon actif pour une meilleure adsorption est de 1 g/L pour Rhodamine B et de 0,8 g/L pour rouge acide 14.
- L'influence du pH : les résultats étaient meilleurs pour un pH =6 pour Rhodamine B et un pH = 2 de solution pour acide rouge 14.
- Le temps de contact pour une absorption le plus complet est de 60 min pour les deux colorants.
- Le modèle cinétique pseudo-second ordre représente mieux cette adsorption avec une capacité d'adsorption calculée presque égale à celle expérimentale pour les deux colorants  $R^2$  est proche de 1.
- La diffusion intra-particulaire, est une étape contrôle le mécanisme d'adsorption mais elle n'est pas considérée comme une étape limitative.
- Le modèle de Langmuir représente convenablement le processus de l'adsorption des deux colorants avec un coefficient  $R^2= 0,99$ .
- La valeur de paramètre thermodynamique ( $\Delta G$ ) est négative donc la réaction d'adsorption est spontanée pour les deux colorants.
- L'entropie augmente lors de l'adsorption ( $\Delta S > 0$ ) pour les deux colorants, ce qui suggère un gain de désordre à l'interface solide / liquide.
- L'effet de la température sur l'élimination pour les deux colorants est endothermique car  $\Delta H$  est positive.

## Conclusion Générale

---

- L'augmentation de la température est accompagnée d'une diminution des valeurs de l'énergie libre, ce qui facilite la diffusion des molécules adsorbées vers les pores internes des particules adsorbants.

Il serait souhaitable de mener des recherches plus poussées à l'avenir pour valoriser ce déchet, ce qui pourrait le rendre concurrentiel vis-à-vis des adsorbants commerciaux dans le traitement des eaux usées, en particulier les rejets organiques et inorganiques pour maintenir un environnement propre et habitable.

## Les Références

- [1] J. F. Pankow, Aquatic Chemistry Concepts, Lewis Publishers, Chelsea, Michigan (1991).
- [2] Zhang, X.; Wang, T.; Xu, Z.; Zhang, L.; Dai, Y.; Tang, X.; Tao, R.; Li, R.; Yang, Y.; Tai, Y. Effect of heavy metals in mixed domestic-industrial wastewater on performance of recirculating standing hybrid constructed wetlands (RSHCWs) and their removal. *Chemical Engineering Journal* 379 (2020) 122363.
- [3] Dutta, M.; Bhattacharjee, S.; De, S. Separation of reactive dyes from textile effluent by hydrolyzed polyacrylonitrile hollow fiber ultrafiltration quantifying the transport of multicomponent species through charged membrane pores. *Separation and Purification Technology* 234 (2020) 116063.
- [4] Sharma, M.; Halder, A.; Vaish, R. Effect of Ce on piezo/photo catalytic effects of Ba<sub>0.9</sub>Ca<sub>0.1</sub>Cex Ti<sub>1-x</sub>O<sub>3</sub> ceramics for dye/pharmaceutical waste water treatment. *Materials Research Bulletin* 122 (2020) 110647.
- [5] Do Nascimento Júnior, W. J.; Aquino, R. V. S.; Barbosa, A. A.; Rocha, O. R. Development of a new PET flow reactor applied to food dyes removal with advanced oxidative processes. *Journal of Water Process Engineering* 31 (2019) 100823.
- [6] S. Bouacherine, Eliminations des polluants spécifiques par adsorption sur charbon actif et argile traitée et non traitée, Mémoire de Magister, Université Mohamed Chérif Messaadia - Souk-Ahras-Algérie, (2013).
- [7] F. Rouquerol, J. Rouquerol, K. S. W. Sing et coll, "Adsorption by powders and porous solids : principles, methodology and applications", Academic Press 2nd edition, (2014).
- [8] S. Bouacherine, Eliminations des polluants spécifiques par adsorption sur charbon actif et argile traitée et non traitée, Mémoire de Magister, Université Mohamed Chérif Messaadia - Souk-Ahras-Algérie, (2013).
- [9] N. Ghalmi et A. Sifer, Essais d'adsorption du phénol et du cuivre sur charbon actif valorisé à base de grignon d'olives, Mémoire d'Ingénieur, Université de Boumerdès, (2006).
- [10] N. Gherbi, Etude expérimentale et identification du processus de rétention des cations métalliques par des matériaux naturels', Thèse de doctorat, Université de Constantine (2008).
- [11] A. Mekarzia, Utilisation du charbon actif préparé à partir du marc de café dans le traitement et l'épuration des eaux, Mémoire de Magister. Ecole Nationale Polytechnique (2000).
- [12] M. H. Rachidi, K. Bahja, A. Zrineh, M. Hamad, S. Zaydoun et M. Ferhat, Etude de l'adsorption de l'Octaéthylporphyrine de Nickel sur les apatites phosphocalciques, *J. Chim. Phys.*, 96(4) 706 - 724 (1999). Mémoire de master. Université de science et technologie (2024)
- [13] J.M. Haguenoer, D. Furon, Toxicologie et hygiène industrielles, Tome X, Paris, (1983). Mémoire de master. Université de science et technologie (2024)

- [14] S. Budavari, Merck index. White house Station, NJ: Merck. (1996). Mémoire de master. Université de science et technologie (2024) .
- [15] N. DOUARA, Etude de la fixation de colorants par un déchet solide modifié chimiquement en mode batch. Mémoire de magister, Université de Mostaganem (2007-2008).
- [16] M. Goyal, S. Singh, and R.C. Bansal, Equilibrium and Dynamic Adsorption of Methylene Blue from Aqueous Solutions by Surface Modified Activated Carbons, Carbon Sci. 5(4), 170-179 (2004). Mémoire de master. Université de science et technologie (2024).
- [17] S. Bouacherine, Eliminations des polluants spécifiques par adsorption sur charbon actif et argile traitée et non traitée, Mémoire de Magister, Université Mohamed Chérif Messaadia - Souk-Ahras-Algérie, (2013).
- [18] F. Rouquerol, J. Rouquerol, K. S. W. Sing et coll, "Adsorption by powders and porous solids : principles, methodology and applications", Academic Press 2nd edition, (2014).
- [19] S. Bouacherine, Eliminations des polluants spécifiques par adsorption sur charbon actif et argile traitée et non traitée, Mémoire de Magister, Université Mohamed Chérif Messaadia - Souk-Ahras-Algérie, (2013).
- [20] N. Ghalmi et A. Sifer, Essais d'adsorption du phénol et du cuivre sur charbon actif valorisé à base de grignon d'olives, Mémoire d'Ingénieur, Université de Boumerdès, (2006). Mémoire de master. Université de science et technologie (2024).
- [21] N. Gherbi, Etude expérimentale et identification du processus de rétention des cations métalliques par des matériaux naturels', Thèse de doctorat, Université de Constantine (2008). Mémoire de master. Université de science et technologie (2024).
- [22] B. Bestani, N. Benderdouche, B. Benstaali, M. Belhakem, Methylene blue and iodine adsorption onto an activated desert plant, Bioresour. Technol. 99, 8441–8444 (2008).
- [23] N. Yahiaoui, Etude de l'adsorption des composés phénoliques des marges d'olive sur carbonate de calcium, hydroxyapatite et charbon actif, Mémoire de Magister, Université Mouloud Mammeri de Tizi Ouzou, (2012). Mémoire de master. Université de science et technologie (2024).
- [24] Flandrin, P. Gonçalves, P. and Rilling, G. " Empirical Mode Decomposition and its Algorithms ", IEEE-EURASIP Workshop on Nonlinear Signal and Image Processing NSIP-03, Grado(I),(2003).
- [25] R. Desjardins ; Le traitement des eaux ; 2ème Edition, école polytechnique de Montréal ;(1997).
- [26] C.E. Chitour, «Chimie physique des phénomènes de surface », OPUA Alger(1979).

- [27] Y. ANCER et N. GOUGAM, « Etude de l'adsorption de colorants textiles par un adsorbant d'origine minérale », mémoire de master Ecole Nationale Polytechnique, 2016.
- [28] Weber. W.J et Morris. J.C (1963). Kinetics of adsorption on carbon from solution. J. Sanit. Eng. Div. Am. Soc. Civ. Eng, No89, pp. 31–60.
- [29] Deng. L, et Shi. Z (2015). Synthesis and characterization of a novel Mg–Alhydrotalcite loaded kaolin clay and its adsorption properties for phosphate in aqueous solution. Journal of Alloys and Compounds, N° 637, pp.188–196, doi: 10.1016/j.jallcom.2015.03.022.
- [30] J.M. Coulson, J.F. Richardson, Chemical Engineering, vol 3 2nd Edition, Butterworth Heinemann (1979).
- [31] J. Onlin, L. Cheseau, Evaluation de charbon actif en poudre (CAP) pour l'élimination des micropolluants dans les eaux résiduaires urbaines. Ecole polytechnique Fédérale de Lausanne (2010). Mémoire de master. Université de science et technologie (2024).
- [32] L. Khalaifia, M. Mazouz, Évaluation du pouvoir d'adsorption d'un charbon actif commercial Thèse de master université de Oum el Bouaghi (2018). Mémoire de master. Université de science et technologie (2024).
- [33] B. Nasma, épouse Fellahi, Étude de l'élimination du Plomb, du Zinc et du cadmium par adsorption sur un charbon actif préparé à base des noyaux de jujube, Thèse de Magister, Université de Bejaïa, (2015).
- [34] L. MAJOLI, Élaboration, Caractérisation et étude des performances de nouveaux adsorbants hydrophobes : application aux atmosphères odorantes ET/OU chargées en composés organiques volatils, Thèse de Doctorat, Université de Jean Monnet de Saint-Etienne, (2005).
- [35] R. Perrin, J. Pscharff, chimie industrielle, 2ème édition Dunod, Paris, 661-679 (1999).
- [36] D. Chelbi, traitement des eaux usées industrielles dégradation des colorants azoïques par un procédé intégré couplant un procédé d'oxydation avancée et un traitement biologique ; Thèse de doctorat université Ferhat Abbas \_ Setif \_ Algeria (2012).
- [37] M. Dore, chimie des oxydants et traitement des eaux, édition Paris (1989).
- [38] G. Sinon Guide des techniques de l'ennoblissement textile, chapitre 11, édition industrie textile (1982).
- [39] Feddal. I, « Contribution à l'élimination d'un polluant organique, en milieu hydrique : bleu de méthylène (BM), sur des matériaux argileux modifiés. », Thèse Doctorat, Université Sidi Bel Abbès, Algérie, (2016). Thème de mémoire Université de science et technologie (20

[40] Collectif, Dictionnaire de l'environnement (3<sup>e</sup> édition), Afnor, (2001). Thème de mémoire Université Mohamed Khider de Biskra(2020).

[41] L. Med Lamin ; C. Smail ; L. Smail ; Dépollution par charbon actif d'une eau contaminée par bleu de méthylène. Mémoire de Master. Université Hamma Lakhdar - El oued, (2017). Thème de mémoire Université Mohamed Khider de Biskra(2020)

[42] E. Guechi, Enlèvement de colorants à partir de solutions aqueuses par des matériaux sorbants non conventionnels et à faible coût, Thèse de Doctorat, Université Badji MokhtarAnnaba-Algérie, (2013). Thème de mémoire Université Mohamed Khider de Biskra(2020).

