



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  
Abdelhamid Ibn Badis University - Mostaganem  
كلية العلوم والتكنولوجيا  
Faculty of Sciences and Technology  
قسم هندسة الطرائق  
Department of Process Engineering



*Department of Process Engineering*

The Date :

Ref ...../U.M/F.S. T/2023

قسم هندسة الطرائق

التاريخ:

رقم: ..... / ج. م / ك.ع.ت//2023

## MEMOIRE DE FIN D'ETUDES DE MASTER ACADEMIQUE

**Filière : Génie des procédés**

**Option : Génie des procédés des matériaux**

**Thème**

**Etude de l'élimination du Rouge Bemacide par le procédé d'adsorption  
sur un charbon actif granulaire**

Présenté par

1-ADDA ABDELOUAHAB

2-BENHAMIDA SABRIA

Soutenu le 22/06/ 2023 devant le jury composé de :

Président :	MEKIBES Zohra	MCB	Université de Mostaganem
Examineur :	DOUARA Nadia	MCB	Université de Mostaganem
Rapporteur :	BENZEKRI BENALLOU Mokhtar	MCA	Université de Mostaganem

Année Universitaire 2022/2023

# Remerciements

Nous tenons en premier lieu, à remercier Dieu le tout puissant de nous avoir donné le courage et la patience pour réaliser ce travail.

Ce travail a été réalisé au Laboratoire de Structure, Application et Elaboration des Matériaux Moléculaires (SEA2M) de l'Université de Mostaganem. Nous adressons le grand remerciement à notre encadrant : Mr BENZEKRI BENALLOU.M qui a proposé le thème de ce mémoire, Ainsi que pour son aide, pour ses conseils, ses explications claires et son intérêt pour ce travail.

Nous remercions les membres de jury d'avoir accepté d'évaluer le présent travail. Nous tenons à remercier également les membres du Laboratoire Mme Z. Mekaibes, Mme N. DOUARA pour leur aide et leur patience.

Enfin, nous exprimons aussi nos sincères remerciements à chacune des deux familles (parents, frères et sœurs) qui nous soutenus et surtout supporté tout le long de nos études.

Un gros merci à tous nos collègues de master II génie des procédés des matériaux.

Nous tenons à remercier tous ceux qui nous ont apporté aide et conseils pendant notre travail.

## Dédicace

Je dédie ce travail à tous ceux qui sont chère pour moi  
A mes parents pour leurs forces et leurs passions qu'ils

m'ont transmises

A mes frères, Abderrahmane, Raz qu'Allah,

A mes sœurs Maroua, Inès, Aïcha, Chaïma, Ikram

Toute ma famille

Tous ceux qui m'ont aidé de près ou de loin dans ma  
formation

A tous mes amies

En fin, je remercie mon binôme Abdelouahab qui a  
Contribué à la réalisation de ce modeste travail.

*Sabria*

## *Dédicace*

*Je dédie ce présent et modeste travail à :*  
*Mes parents qui m'ont toujours soutenu, que*  
*dieu les garde,*  
*Ma femme pour son soutien moral*  
*Mon fils Farouk*  
*Ma sœur et mes frères*  
*Toute ma famille*  
*Tous mes amis (es)*  
*A mon binôme Sabria et Toute ma promotion*  
*de master ;*  
*A tous ceux qui me sont chers*

*Abdelouahab.*

## Résumé

La pollution des eaux par certains produits chimiques d'origine industrielle telle que certains colorants, constitue une source de dégradation de l'environnement. L'adsorption est l'une des techniques les plus utilisées dans le domaine de traitement des eaux de rejet industrielle et le charbon actif est l'adsorbant le plus employé à cause de sa grande capacité d'adsorption des espèces organiques. Dans ce travail on a étudié l'efficacité d'un charbon actif granulé préparé au laboratoire à base de noyaux d'olive pour épurer des solutions aqueuses, contenant de colorant anionique (rouge Bémacide) par le procédé de l'adsorption, Nos expériences consistent à étudier l'influence des principaux paramètres physico-chimiques telle que : (le temps de contact, la concentration initiale du colorant, la masse de charbon, le pH de la solution) influençant l'adsorption de colorant. Le comportement d'adsorption de ce colorant à l'équilibre a été examiné par les modèles isothermes de Langmuir, Freundlich et Temkin Les données d'équilibre étaient beaucoup plus en accord avec les modèles de Langmuir et Temkin.

**Mots clés :** la Pollution, l'adsorption, charbon actif, noyaux d'olive

## ملخص

يعتبر تلوث المياه بمواد كيميائية ذات أصل صناعي، مثل بعض الأصباغ، مصدرًا للتدهور البيئي. يعد الامتزاز أحد أكثر التقنيات استخدامًا في مجال معالجة مياه الصرف الصناعي، ويعتبر الكربون المنشط أكثر الممتزات استخدامًا نظرًا لقدرته العالية على امتصاص المواد العضوية. درسنا في هذا العمل فعالية حبيبات الكربون المنشط المحضرة في المختبر بواسطة أنوية الزيتون على امتزاز الصبغة الحمضية (احمر البيماسيد)، وتتمثل تجاربنا في دراسة تأثير العوامل الفيزيائية والكيميائية الرئيسية مثل: (وقت التلامس، التركيز الأولي للصبغة، كتلة الكربون المنشط، الرقم الهيدروجيني للمحلول) على امتزاز الصبغة. تم فحص سلوك الامتزاز لهذه الصبغة عند التوازن من خلال النماذج المتساوية ل لانجموير وفريندليش وتيمكين، وكانت بيانات التوازن أكثر توافقًا مع نموذج لانجموير وتيمكين.

**الكلمات المفتاحية:** الكربون المنشط/ الامتزاز /التلوث /نوى الزيتون

## *Summary*

The pollution of water by certain chemicals of industrial origin such as certain dyes, constitutes a source of environmental degradation. Adsorption is one of the most used techniques in the field of industrial wastewater treatment and activated carbon is the most used adsorbent because of its high adsorption capacity of organic species. In this work we studied the effectiveness of a granulated activated carbon prepared in the laboratory based on olive stones to purify aqueous solutions containing anionic dye (bemacide red) by the process of adsorption. Our experiments consist in studying the influence of the main physicochemical parameters such as: (contact time, initial concentration of the dye, mass of carbon, pH of the solution) influencing the adsorption of dye. The equilibrium adsorption behavior of this dye was examined by Langmuir, Freundlich and Temkin isothermal models. The equilibrium data were in much better agreement with the Langmuir and Temkin models.

**Keywords:** Pollution, adsorption, activated carbon, Olive stones

# Sommaire

Introduction Générale .....	01
-----------------------------	----

## Chapitre I :

### Généralités sur le phénomène d'adsorption et les adsorbants

I.1 Définition de l'adsorption.....	02
I.2 Principe .....	02
I.3. Mécanisme d'adsorption.....	03
I.4.Type d'adsorption.....	03
I.4.1. Adsorption physique (la physisorption).....	04
I.4.2. Adsorption chimique (la chimisorption).....	04
I.5.Facteurs influençant l'adsorption.....	05
I.5.1. La surface spécifique .....	05
I.5.2. Le pH .....	05
I.5.3. La concentration.....	05
I.5.4. La vitesse d'adsorption .....	05
I.5.5. La nature de l'adsorbant .....	05
I.5.6. La nature de l'adsorbat.....	05
I.5.7. La température .....	05
I.6.Adsorbant .....	06
I.6.1. Généralité .....	06
I.6.2. Les adsorbants les plus utilisés dans le traitement des eaux .....	06
I.6.3. Charbon actif .....	06
I.6.4. Origine des charbons actifs .....	07
I.6.4.1. Origine végétale .....	07
I.6.4.2. Origine animale.....	07
I.6.4.3. Origine minérale .....	07
I.6.5 Classification de charbon actif .....	07
I.6.5.1 Charbon actif en poudre (CAP) .....	08
I.6.5.2. Charbon actif granulé (CAG).....	08
I.6.5.3. Le charbon actif extrudé .....	09
I.7. Isothermes d'adsorption .....	09
I.7.1. Capacité d'adsorption .....	09

I.7.2. Classification des isothermes d'adsorption .....	10
I.7.3. Modélisation des isothermes d'adsorption .....	11
I.7.3.1. Modèle de Langmuir .....	11
I.7.3.2. Modèle de Freundlich .....	11
I.7.3.3. Modèle de Temkin .....	12
I.8. Cinétique d'adsorption .....	12
I.8.1. Modèle de pseudo premier ordre .....	12
I.8.2. Modèle cinétique du second ordre .....	13
I.9. Etude des Paramètres thermodynamiques .....	13
I.9.1. Coefficient de distribution .....	14

## **Chapitre II :**

### **Généralités sur les colorants**

II.1. Définition .....	15
II.2. Type des colorants .....	16
II.2.1. Colorants naturels .....	16
II.2.2. Colorants synthétiques.....	16
II.3. Classification des colorants .....	16
II.3.1. Classification chimique .....	16
II.3.1.1. Colorants indigoïdes .....	16
II.3.1.2. Les phtalocyanines .....	17
II.3.1.3. Colorants azoïques.....	17
II.3.1.4 Les colorants nitrés et nitrosés.....	17
II.3.2. Classification tinctoriale .....	18
II.3.2.1. Colorants solubles dans l'eau .....	18
II.3.2.2. Colorants insolubles dans l'eau .....	18
II.4. Toxicité des colorants .....	18
II.5. Méthode de traitement des polluants .....	19



## **Chapitre III :**

### **Partie expérimentale.**

III.1. Matériels et appareillages .....	20
III.1.1. Matériels utilisés .....	20
III.1.2. Appareillage .....	21
III.2. Produits utilisés .....	21
III.2.1. Le rouge Bemacide.....	21
III.2.2. Les produits utilisés pour l'ajustement du pH.....	22
III.3. Adsorption de Rouge Bemacide.....	22
III.3.1. Préparation des solutions de Rouge Bemacide .....	22
III.3.2. Etablissement de la courbe d'étalonnage .....	23
III.3.3. Optimisation des paramètres d'adsorption .....	24
III.3.3.1. Effet du temps de contact sur l'adsorption de rouge Bemacide .....	24
III.4.3.2. Effet de la dose de l'adsorbant sur l'adsorption de rouge Bemacide .....	25
III.4.3.3. Etude de l'influence de pH de la solution sur l'adsorption de rouge Bemacide .....	26
III.4.4. Isothermes d'adsorption .....	27
III.4.6. Modélisations .....	29
Conclusion Générale .....	32
Références bibliographiques .....	33

## Liste des figures

<b>Figure I.1:</b> Principe du phénomène de l'adsorption. ....	02
<b>Figure I.2 :</b> Mécanisme d'adsorption d'un soluté lors de l'adsorption sur un matériau microporeux .....	03
<b>Figure I.3:</b> Comparaison entre l'adsorption chimique et l'adsorption physique. ....	04
<b>Figure I.4:</b> Structure du charbon actif.....	07
<b>Figure I.5:</b> charbon actif en poudre (CAP).....	08
<b>Figure I.6:</b> charbon actif granulé (CAG) .....	08
<b>Figure I.7:</b> Charbon actif extrudé .....	09
<b>Figure I.8:</b> Allures des isothermes d'adsorption selon Giles.....	10
<b>Figure I.9:</b> représentation linéaire du modèle cinétique du pseudo-premier ordre.....	13
<b>Figure II.1:</b> Les colorants. ....	15
<b>Figure II.2:</b> Structure chimique des colorants indigoïdes .....	16
<b>Figure II.3:</b> Structure chimique des colorants phtalocyanines .....	17
<b>Figure II.4:</b> Structure chimique des colorants azoïques.....	17
<b>Figure II.5:</b> chimique des colorants ortho nitro phénol structure .....	18
<b>Figure II.6:</b> structure chimique de C.I acide Red 27 .....	18
<b>Figure III.1 :</b> Dosage d'une espèce chimique en solution.....	21
<b>Figure III.2 :</b> Structure chimique du colorant Rouge Bemacide.....	22
<b>Figure III.3 :</b> Courbe d'étalonnage de rouge Bemacide.....	23
<b>Figure III.4 :</b> Evolution du taux d'élimination en fonction du temps. ....	25
<b>Figure III.5:</b> Evolution de taux d'élimination du rouge Bemacide en fonction de la dose. ....	26
<b>Figure III.6:</b> Taux d'élimination en fonction de pH. ....	27
<b>Figure III.7:</b> Isotherme d'adsorption de rouge Bemacide.....	28
<b>Figure III.8 :</b> Application du modèle de Langmuir pour l'adsorption de rouge Bemacide. ....	29
<b>Figure III.9 :</b> Application du modèle de Freundlich pour l'adsorption de rouge Bemacide.....	30
<b>Figure III.10 :</b> Application du modèle de Temkin pour l'adsorption de rouge Bemacide. ....	30

## Liste des tableaux

<b>Tableau I.1</b> : Principales différences entre l'adsorption physique et l'adsorption chimique ....	04
<b>Tableau III.1</b> : Quelques propriétés physico-chimiques des colorants étudiés .....	22
<b>Tableau III.2</b> : Valeurs de : $Abs = f(C)$ de la courbe d'étalonnage de rouge Bemacide .....	23
<b>Tableau III.3</b> : Étude de temps d'équilibre de l'adsorption de rouge Bemacide.....	24
<b>Tableau III.4</b> : Effet de la dose sur l'adsorption de rouge Bemacide.....	25
<b>Tableau III.5</b> : Les résultats de l'influence de pH sur l'adsorption (75 mg/L) .....	27
<b>Tableau III.6</b> : Résultats obtenues d'isotherme d'adsorption du RB .....	28
<b>Tableau III.7</b> : les principaux paramètres de chaque modèle.....	31

## Introduction Générale

L'eau est l'origine de la vie sur la terre. Pourtant, diverses activités humaines : industrielles, urbaines ou agricoles ,provoquent sa pollution à titre d'exemple, les teintures synthétiques utilisées en industries textiles sont déversées directement dans l'environnement aquatique sans aucun traitement préalable [1].

Près de 5 à 25% des colorants appliqués sur les tissus ne sont pas fixés et se retrouvent dans les eaux usées [2]. Les rejets de l'industrie textile constituent d'énormes nuisances pour la santé humaines et l'environnement. Les différents colorants utilisés causent sérieux problèmes en raison de leur stabilité et de leur faible biodégradabilité. Ainsi, il est nécessaire de traiter ces rejets avant qu'ils soient déversés dans le réseau d'assainissement [3]. Il existe plusieurs méthodes physique, chimique et biologique pour traiter et décolorer des effluents pollués tel que la coagulation et la floculation, la biodégradation, la filtration membranaire, l'oxydation chimique, l'ozonation, échange d'ions les méthodes électrochimiques et l'adsorption [4].

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 [5]. 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, résidus agricoles et charbon actif ...) pouvant être utilisés dans des procédés de décoloration des eaux.

Notre travail au laboratoire avait pour objectif d'étudier l'adsorption d'un colorant organique sur un charbon actif, nous avons divisé notre travail en trois chapitres :

- Les deux premiers chapitres sont consacrés à l'étude théorique englobant des rappels sur le phénomène d'adsorption et les adsorbants et quelques généralités sur les colorants
- Le troisième chapitre présenter les méthodes et le matériel du protocole expérimental ainsi que les procédures mises en œuvre de l'adsorption du rouge bémacide sur charbon actif granulé CAG, en dernier nous allons faire une récapitulation des différents résultats obtenus et leur interprétation
- Enfin, ce mémoire est achevé par une conclusion générale.

# Chapitre I

## Généralité sur l'adsorption et les adsorbants

La technique de séparation par adsorption constitue une des technologies de séparation les plus importantes, en particulier parmi les technologies qui ne sont pas basées sur l'équilibre vapeur-liquide. Elle est largement utilisée pour la séparation et la purification des gaz et des liquides dans des domaines très variés, allant des industries pétrolières, pétrochimiques et chimiques, aux applications environnementales et pharmaceutiques [6].

Le terme adsorption a été proposé pour la première fois par Kayser en 1881 pour différencier une condensation de gaz à la surface et d'une adsorption de gaz, processus dans lequel les molécules de gaz pénètrent dans la masse [7].

### I.1. Définition

L'adsorption est un procédé de traitement, pour éliminer une très grande diversité de composé toxiques dans notre environnement [8]. Elle est définie comme étant la fixation des molécules de solutés à la surface d'un solide par l'intermédiaire d'une liaison de type de Van Der Waals ou chimique [9].

### I.2. Principe

Le principe de l'adsorption est d'utiliser la capacité des solides à fixer des molécules gazeuses ou liquides sur la surface. Les molécules adsorbées sont appelées solutés ou adsorbats, et les solides sont appelés adsorbants. La surface de l'adsorbant comprend la surface externe et la surface interne, et plus le réseau de pores et de trous à l'intérieur de l'adsorbant est grand, plus sa capacité d'adsorption est grande. La zone compte [10].

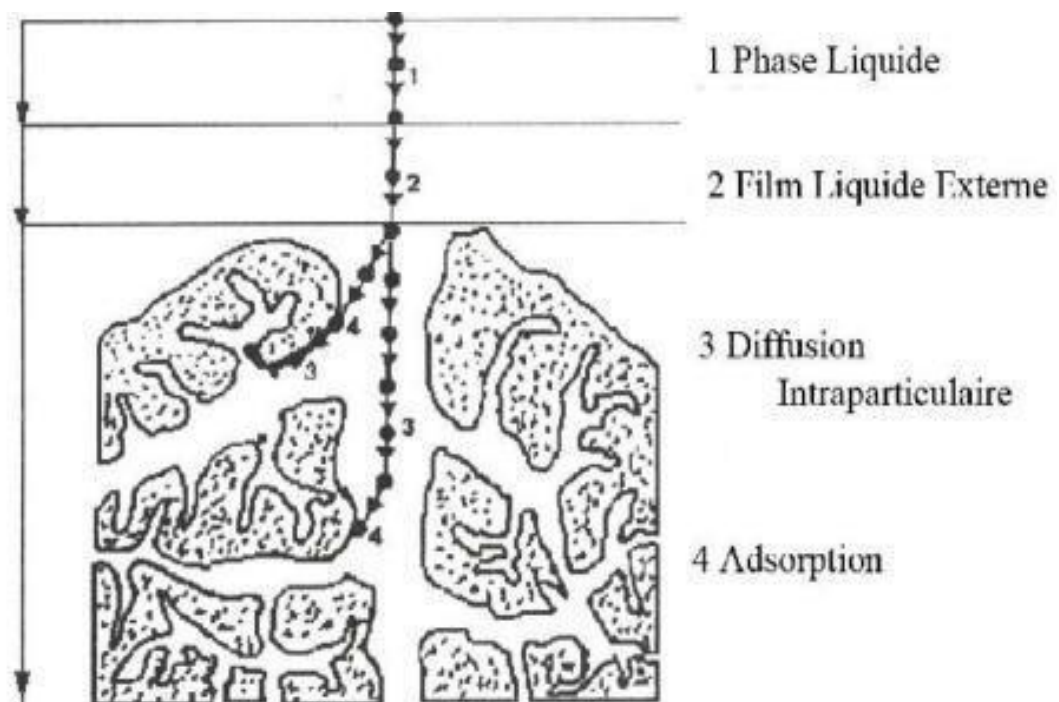


Figure I.1 : Principe du phénomène de l'adsorption [11]

### I.3. Mécanisme d'adsorption

L'adsorption est un processus, largement répandu pour l'élimination d'un colorant (polluant), ce processus s'opère en plusieurs étapes comme montre la figure suivante :

- 1) Diffusion de l'adsorbat de la phase liquide externe vers celle située au voisinage de la surface de l'adsorbant.
- 2) Diffusion extra granulaire de la matière (transfert du soluté (adsorbat) vers la surface des grains (adsorbant)).
- 3) Diffusion interne : les particules de fluide pénètrent à l'intérieur des pores.
- 4) Diffusion de la surface au contact des sites actifs, elle correspond à la fixation des molécules sur la surface des pores (la molécule est considérée comme immobile) [12].



**Figure I.2:** Mécanisme d'adsorption d'un soluté lors de l'adsorption sur un matériau microporeux [13].

### I.4. Type d'adsorption

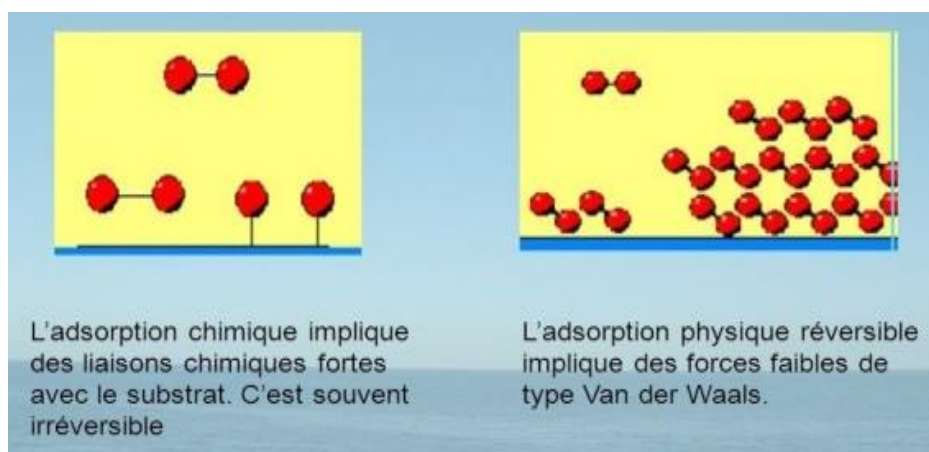
L'affinité de l'adsorbant vers l'adsorbat est due à deux types de liaisons : chimique ou physique (figure I.3), on parle alors de physisorption ou de chimisorption.

➤ **Adsorption physique (la physisorption)**

L'adsorption physique est la fixation des molécules adsorbant sur la surface d'un solide (adsorbant) grâce à l'attraction mutuelle des molécules de l'adsorbant et l'adsorbant sous l'action des forces de Van Der Waals. La physisorption est favorisée à une faible énergie et à une basse température et se produit sans modification de la structure moléculaire de l'adsorbant [11].

➤ **Adsorption chimique (la Chimisorption)**

L'adsorption chimique résulte de la formation d'une liaison chimique entre l'adsorbant et le substrat, contrairement à la physisorption les énergies d'interaction sont élevées et le processus est favorisé par un accroissement de la température. On peut dire que la chimisorption est complète quand tous les centres actifs présents à la surface ont établi une liaison avec les molécules de l'adsorbant [11].



**Figure I.3:** Comparaison entre l'adsorption chimique et l'adsorption physique.[11]

**Tableau I.1 :** Principales différences entre l'adsorption physique et l'adsorption Chimique

Paramètres	Chimisorption	Physisorption
Type de liaison adsorbant-adsorbant	Covalente ou ionique	Van Der Waals
Nombre de couches adsorbées	Souvent une monocouche	Une ou plusieurs couches superposées
Domaine de Température	Plus élevée	Relativement faible
L'énergie d'adsorption	De (20 à 100 kcal/mol)	De (10 kcal/mol) au maximum
Cinétique d'adsorption	Très lente	Rapide

## **I.5. Facteurs influençant l'adsorption**

De nombreux facteurs peuvent influencer sur le phénomène de l'adsorption des liquides par les solides on peut citer [14] :

### **I.5.1. La surface spécifique**

La surface spécifique, appelée aussi l'aire massique, représente la surface totale par unité de masse du produit accessible aux atomes et aux molécules, sa connaissance contribue à améliorer le contrôle de la réactivité d'un échantillon lorsque celui-ci sera mis en présence d'autres matériaux, car la vitesse de réaction varie avec l'état de division des matériaux.

### **I.5.2. Le pH**

Le pH a parfois un effet non négligeable sur les caractéristiques de l'adsorption. Dans la plupart des cas, les meilleurs résultats sont acquis aux pH les plus faibles. Cette propriété s'applique particulièrement à l'adsorption de substances acides.

### **I.5.3. La concentration**

Pour les faibles concentrations dissoutes, on observe en général que le taux d'adsorption obéit à la loi de Freundlich.

### **I.5.4. La vitesse d'adsorption**

L'adsorption physique en phase liquide est beaucoup moins rapide. La viscosité de la solution doit être un facteur agissant sur la vitesse d'adsorption et il est vraisemblable qu'en diminuant la viscosité par chauffage, on croit la vitesse. C'est une des raisons pour lesquelles on effectue à température élevée la décoloration de solution par les adsorbants solides.

### **I.5.5. La nature de l'adsorbant**

Etant donné que les substances à adsorber doivent se mouvoir dans un solvant plus ou moins visqueux, l'adsorbant travaillant en phase liquide, a en général des caractéristiques différentes de celles des adsorbants utilisés en phase gazeuse.

### **I.5.6. La nature de l'adsorbat**

Les propriétés physico-chimiques de l'adsorbat sont déterminantes et jouent un rôle primordial lors de son adsorption sur une surface solide de l'adsorbant. La structure moléculaire est l'un des principaux paramètres qui influence la rétention des adsorbats. Plus la structure moléculaire est volumique plus sa rétention par certaines phases solides est difficile.

### **I.5.7. La température**

L'adsorption est un processus exothermique et son déroulement doit être favorisé par l'abaissement de la température avec quelques cas très rares d'endothermicité ont été reportés.



## **I.6. Adsorbant**

### **I.6.1. Généralités**

Tous les solides agissants comme adsorbants sont caractérisés par la structure microporeuse qui leur confère une très grande surface active par unité de masse. Les adsorbants utilisés dans la pratique sont, soit de nature minérale : argile, bauxite, alumine et gel de silice soit d'origine organique (noir animal, charbons végétaux, résine synthétique) [15]. Ils sont employés tels quels ou après un traitement d'activation ayant pour but l'augmenter la porosité [16].

### **I.6.2. Les adsorbants les plus utilisés dans le traitement des eaux**

#### ➤ **Les charbons actifs :**

Les charbons actifs sont de loin les adsorbants les plus fabriqués et utilisés industriellement. Ils ont diverses applications notamment dans les domaines de purification de l'eau, et de l'air. Le pouvoir d'adsorption des charbons actifs est attribué à la porosité, la surface spécifique, et les groupements fonctionnels de surface [14].

#### ➤ **Les argiles activées :**

Les argiles sont des aluminosilicates, ce sont des produits naturels qui sont activées pour avoir de meilleures propriétés adsorbants [14].

#### ➤ **Les gels de silice :**

Sont des hydroxydes de silicium  $\text{Si}(\text{OH})_4$  polymères d'acide silicique préparé à partir de silicate de sodium. Il existe deux types de gels de silice : les microporeux, assez hydrophiles, et macroporeux, versatiles, qui diffèrent par la taille des pores comme le nom l'indique [14].

#### ➤ **Les aluminés :**

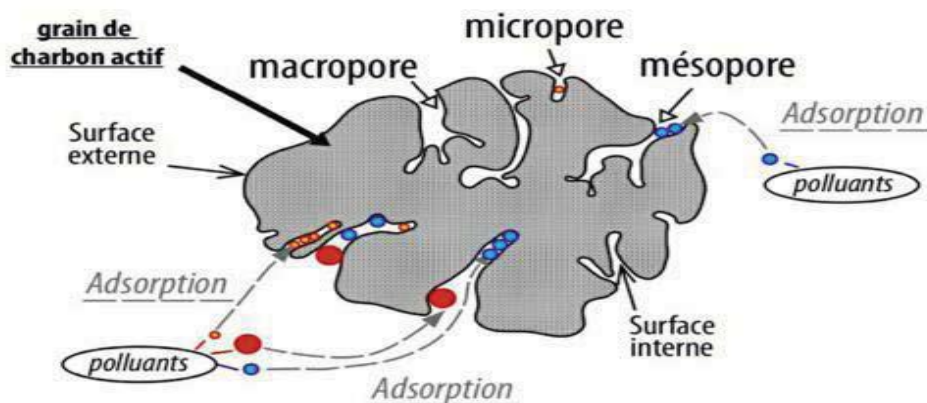
Sont des adsorbants amorphes, moyennement polaires et hydrophiles, ce sont des oxydes d'aluminiums de formule  $\text{Al}_2\text{O}_3$ , ils sont représentés par des solides blancs inodores insolubles dans l'eau. Ils ont une surface spécifique de  $300 \text{ m}^2/\text{g}$  [14].

#### ➤ **Les zéolites :**

Sont des adsorbants de squelette cristallin aluminosilicate tridimensionnel de formule  $(\text{AlO}_2)_m, n\text{SiO}_2$ . Ils sont sous forme de poudre, granules ou extrudés [14].

### **I.6.3. Charbon actif**

Le charbon actif est un matériau constitué essentiellement de matière carbonée à structure poreuse. Il s'agit d'une structure amorphe présentant une très grande surface spécifique qui lui confère un fort pouvoir adsorbant [17].



**Figure I.4 :** Structure du charbon.[14]

#### **I.6.4. Origine des charbons actifs**

La fabrication du charbon actif passe nécessairement par l'identification et le choix de la matière première. Les matières premières peuvent être obtenues à partir d'un grand nombre de matériaux d'origine végétale, animale ou minérale [18].

##### **I.6.4.1. Origine végétale**

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

- Déchets agricoles non utilisables : noyaux de fruit, coque de noix de coco, bagasse de canne à sucre, coque de fruit flamboyant, coque de graines de palmiste..., etc.
- Paille et enveloppes de céréales : blé et riz.
- Arbre sous forme de copeaux ou sciure de bois : chêne, eucalyptus, lignite [19].

##### **I.6.4.2. Origine animale**

Les charbons activés sont essentiellement obtenus à partir d'ossements d'animaux mais aussi à partir de leur sang voire de leur chair.

##### **I.6.4.3. Origine minérale**

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

#### **I.6.5. Classification de charbon actif**

Les charbons actifs sont des produits complexes, d'où la difficulté de les classer selon leurs comportements, leurs propriétés ou leurs caractéristiques surfaciques. Le seul paramètre qui peut donner une idée de la qualité des charbons actifs est leur capacité d'adsorption qui, à son tour, dépend de la nature et de la taille des pores. Les charbons actifs sont donc classés selon

la taille de leurs particules ; les plus représentés sont ceux en poudres, en grains et en extrudé [20].

#### **I.6.5.1. Charbon actif en poudre (CAP)**

Ils ont une granulométrie très fine (inférieure à 100  $\mu\text{m}$ ) avec un diamètre moyen compris entre 15 et 25  $\mu\text{m}$ . Ils présentent une grande surface spécifique et se caractérisent par une très grande vitesse d'adsorption. Ils sont utilisés de préférence pour l'adsorption en phase liquide [20].



**Figure I.5:** charbon actif en poudre (CAP)

#### **I.6.5.2. Charbon actif en grain (CAG)**

Les charbons actifs peuvent aussi se trouver sous forme de grains avec un diamètre supérieur à 1 mm. Ils possèdent une grande surface interne et une surface externe relativement faible. Cependant les phénomènes de diffusion à l'intérieur des pores prennent une prédominance dans les processus d'adsorption et le mécanisme d'adsorption est beaucoup plus lent que dans le cas d'un charbon actif en poudre [21].



**Figure I.6 :** charbon actif granulé (CAG)

### I.6.5.3. Charbon actif en extrudé

Le charbon extrudé est de forme cylindrique avec diamètres allant de 0.8 mm à 5mm. 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 [22].



Figure I.7 : Charbon actif extrudé

## I.7. Isothermes d'adsorption

L'isotherme d'adsorption représente la variation de la quantité ( $Q_e$ ) adsorbée sur un solide à l'équilibre en fonction de la concentration à l'équilibre ( $C_e$ ) du composé adsorbable. A une température donnée, la quantité de molécules (adsorbat) adsorbée à l'équilibre s'exprime en nombre de mole ou en masse d'adsorbat par masse de solide [23].

### I.7.1. Capacité d'adsorption

La capacité d'adsorption d'un adsorbant est définie comme étant la quantité de substrat (masse ou volume) adsorbée par unité de poids d'adsorbant pour une température donnée. Elle nécessite la prise en compte de nombreux paramètres aussi bien pour l'adsorbat (taille des molécules, solubilité dans l'eau ..., etc.) que pour l'adsorbant (surface spécifique, structure et type de particules le constituant... etc.) [24]. Elle peut être généralement exprimée par la relation suivante :

$$q_e = \frac{(C_0 - C_e) \times V}{m} \dots \dots \dots (I.1)$$

Où :

$q_e$  : capacité d'adsorption du support (mg/g).

$C_0$  : concentration initiale du substrat (mg/L) à  $t=0$ .

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

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

$m$  : masse du support (g).

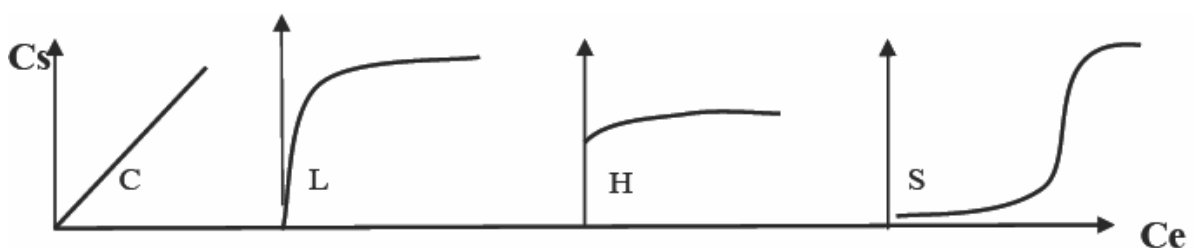
### I.7.2 Classification des isothermes d'adsorption

Tous les systèmes adsorbant-adsorbé ne se comportent pas de la même manière. Expérimentalement, on distingue quatre classes principales nommées : S (Sigmoide), L (Langmuir), H (Haute affinité) et C (partition Constante) [25]. La figure (I.8) présente cette classification.

Après cette description nous abordons l'interprétation des différentes classes d'isothermes.

Nous commençons par la plus fréquente : l'isotherme de Langmuir.

- **Classe L** : Les isothermes de classe L présentent, aux faibles concentrations de la solution, une concavité tournée vers le bas qui traduit une diminution des sites libres au fur et à mesure de la progression de l'adsorption. Ce phénomène se produit lorsque les forces d'attraction entre les molécules adsorbées sont faibles [26]
- **Classe C** : Les courbes sont sous formes de ligne droite avec le zéro comme origine. Elle signifie que le rapport entre la concentration résiduelle et adsorbée est le même à n'importe quelle concentration. Ce rapport est appelé coefficient de distribution. [26]
- **Classe H** : La partie initiale de l'isotherme est presque verticale, la quantité adsorbée apparaît importante à concentration quasiment nulle du soluté dans la solution. Ce phénomène se produit lorsque les interactions entre les molécules adsorbées et la surface du solide sont très fortes [26].
- **Classe S** : Les isothermes de cette classe présentent, à faible concentration, une concavité tournée vers le haut. Les molécules adsorbées favorisent l'adsorption ultérieure d'autres molécules (adsorption coopérative), ceci est dû aux molécules qui s'attirent par des forces de Van Der Waals, et se regroupent en îlots dans lesquels elles se tassent les uns contre les autres. Ce comportement est favorisé, d'une part, quand les molécules de soluté sont adsorbées verticalement comme c'est le cas des molécules possédant un seul groupe fonctionnel et d'autre part, quand les molécules se trouvent en compétition d'adsorption forte avec le solvant [26].



**Figure I.8:** Allures des isothermes d'adsorption selon Giles [27]

### I.7.3. Modélisation des isothermes d'adsorption

Le phénomène d'adsorption a été établi par plusieurs modèles mathématiques et empiriques, dont chacun repose sur des hypothèses et des approximations. Parmi les modèles largement utilisés on cite : Langmuir, Freundlich, Temkin.

#### I.7.3.1. Modèle de Langmuir

Le modèle d'adsorption de Langmuir est défini par une capacité maximale d'adsorption qui est liée à la couverture des sites de surface par une monocouche. L'importance de l'isotherme de Langmuir est qu'il peut être théoriquement appliqué à une surface parfaitement uniforme, et lorsqu'il n'y a pas d'interactions entre les molécules adsorbées [28]. L'isotherme est représentée par l'équation suivante :

$$\frac{C_e}{q_e} = \frac{1}{K_L \times b} + \frac{1}{b} C_e \dots \dots \dots (I. 2)$$

Où :

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

$q_e$  : quantité de substance adsorbée par unité de masse de l'adsorption (mg/g).

$K_L$  : constante correspond à l'énergie d'adsorption.

$b$  : capacité maximale d'adsorption.

#### I.7.3.2. Modèle de Freundlich

En 1962, Freundlich a proposé un autre modèle pour décrire l'adsorption en milieu gazeux ou liquide. Ce modèle est représenté par une équation à deux paramètres ( $K_F$  et  $n$ ) et consiste en une distribution exponentielle des énergies des sites d'adsorption à la surface du support et se caractérise par une adsorption en sites localisés [29].

Ce modèle est décrit par :

$$q_e = K_F \times C_e^{1/n} \dots \dots \dots (I. 3)$$

Sachant que :

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

$C_e$  : la concentration de l'adsorbat dans la solution à l'équilibre (mg/L).

$K_F$  : la constante de Freundlich (L/mg).

$n$  : paramètre énergétique de Freundlich.

Lorsque : la valeur de  $n$  est : ( $1 < n < 10$ ) cela indique une adsorption favorable, par contre si la valeur est : ( $n < 1$ ) une faible adsorption. [14]

- Les deux paramètres de Freundlich  $K_F$  et  $n$  peuvent être déterminés expérimentalement par le passage au logarithmique de l'expression pour donner :

$$\ln q_e = \ln K_F \times \frac{1}{n} \ln C_e \dots \dots \dots (I.4)$$

**I.7.3.3. Modèle de Temkin**

L'isotherme de TEMKIN est basée sur l'hypothèse que la chaleur d'adsorption diminue linéairement avec l'augmentation du taux de recouvrement de la surface solide. L'équation de TEMKIN formulée dans le cas de l'adsorption des gaz sur des solides et transposée à la phase liquides [30]. La forme de l'isotherme de Temkin à l'équilibre s'écrit [31] :

$$q_e = \left( \frac{R \times T}{b_T} \right) \ln(K_T \times C_e) \dots \dots \dots (I.5)$$

Sous sa forme linéaire :

$$q_e = B_T \ln K_T + B_T \ln C_e \dots \dots \dots (I.6)$$

Où : avec  $B_T = \frac{R \times T}{b_T}$

$K_T$  et  $b_T$  sont des constantes caractéristiques du système adsorbat/adsorbant.

En posant ( $q_e$ ) en fonction de ( $\ln C_e$ ) on obtient une droite de pente  $B_T$  et d'ordonnée à l'origine ( $b = B_T \times \ln K_T$ ), cela permet la détermination des deux paramètres de Temkin,  $K_T$  et  $b_T$ .

**I.8. Modèles cinétiques d'adsorption**

La connaissance de la cinétique d'adsorption dans des opérations fondées sur les phénomènes d'adsorption présente un intérêt pratique considérable pour la mise en œuvre optimale d'un adsorbant ainsi que pour connaître les facteurs qu'il faut optimiser pour fabriquer ou améliorer un adsorbant conduisant à la cinétique la plus rapide possible [32], parmi ces modèles, on retient :

**I.8.1 Modèle de pseudo premier ordre**

LANGRANGE (1889) a proposé un modèle cinétique du pseudo première ordre exprimée par la relation suivant [33] :

$$\frac{dq_t}{dt} = k_1 \times (q_e - q_t) \dots \dots \dots (I.7)$$

Où :

$K_1$  : la constante de vitesse pour une cinétique de pseudo première ordre.

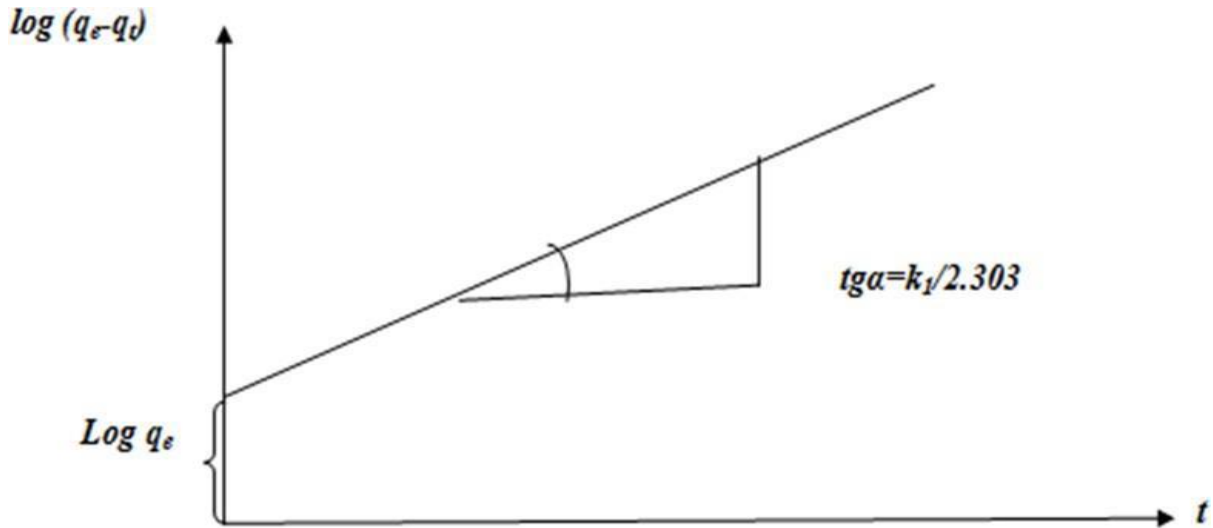
$q_t$  : la capacité d'adsorption à l'instant t.

$q_e$  : la capacité d'adsorption à l'équilibre.

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

$$\log(q_e - q_t) = \log(q_e) - \frac{k_1}{2,303} \times t \dots \dots \dots (I.8)$$

Si la cinétique d'adsorption suit le modèle de pseudo-premier ordre, le tracé de  $\log(q_e - q_t)$  en fonction du temps ( $t$ ) donne une droite de pente égale à  $k_1/2,303$  et une ordonnée à l'origine égale à  $\log(q_e)$ , comme montré la Figure I.9.



**Figure I.9:** représentation linéaire du modèle cinétique du pseudo-premier ordre.[32]

### I.8.2. Modèle de pseudo deuxième ordre

Le modèle du pseudo deuxième ordre suggère l'existence d'une chimisorption, un échange d'électron par exemple entre molécule d'adsorbat et l'adsorbant solide [34].

$$\frac{dq_t}{dt} = k_2 \times (q_e - q_t)^2 \dots \dots \dots (I.9)$$

Où :

$k_2$  : la constante de vitesse pour une cinétique de pseudo deuxième ordre ;

$q_t$  : la capacité d'adsorption à l'instant  $t$  ;

$q_e$  : la capacité d'adsorption à l'équilibre.

L'intégration de l'équation (9) donne :

$$\frac{t}{q_t} = \frac{1}{k_1 \times q_e^2} + \frac{1}{q_e} \times t \dots \dots \dots (I.10)$$

### I.9. Etude des paramètres thermodynamiques

Les paramètres thermodynamiques mettant en évidence le changement de l'énergie libre de Gibbs  $\Delta G$ , de l'enthalpie  $\Delta H$  et de l'entropie  $\Delta S$ , permettent de prévoir la spontanéité d'un Processus. D'une façon générale, le phénomène d'adsorption est toujours accompagné d'un effet thermique qui peut être, soit exothermique ( $\Delta H < 0$ ) ou, endothermique ( $\Delta H > 0$ ).



La mesure de la chaleur  $\Delta H$  est le principal critère permettant de différencier entre la chimisorption et la physisorption. Les grandeurs thermodynamiques sont déterminées à partir de l'équation de *Van 't Hoff* [35] :

$$\ln K_d = \frac{\Delta S}{R} - \frac{\Delta H}{R \times T} \dots \dots \dots (I. 11)$$

Et la relation thermodynamique de Gibbs-Helmholtz :

$$\Delta G = \Delta H - T\Delta S \dots \dots \dots (I. 12)$$

Où :

$K_d$  : Coefficient de distribution (L/g).

$\Delta H$  : Enthalpie (kJ/mole).

$\Delta S$  : Entropie (kJ/mole).

$\Delta G$  : Energie libre (kJ/mole).

$R$  : constante des gaz parfaits (8,314 J/mole. K).

Le tracé de la droite  $\ln K_d$  en fonction de  $1/T$  permet de calculer les valeurs des paramètres Thermodynamiques  $\Delta H$  et  $\Delta S$  à partir de l'ordonnée à l'origine et la pente.

### I.9.1. Coefficient de distribution

Le coefficient de distribution représente le rapport entre la quantité  $q_e$  ( $x/m$ ) (masse adsorbée par gramme d'adsorbant) et la concentration dans la solution à l'équilibre [36] soit :

$$K_d = \frac{q_e}{C_e} = \frac{(C_0 - C_e) \times V}{m \times C_e} \dots \dots \dots (I. 13)$$

Où :

$C_0$  : concentration initiale de l'adsorbat (mg/L).

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

$m$  : masse de l'adsorbant (g).

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

# Chapitre II

## Généralité sur les colorants chimiques

Les colorants constituent un groupe très diversifié de composés ayant en commun la propriété de colorer d'une manière permanente les tissus, cuirs ou papiers. Tous ces colorants sont des composés aromatiques dont les électrons très délocalisés peuvent absorber la lumière pour certaines longueurs d'ondes [37].

Les propriétés colorantes des composés organiques dépendent de leur structure et de leur composition chimique. En général, les produits utilisés comme colorants sont des composés organiques insaturés et aromatiques [38].



**Figure II.1** : Les colorants.

### II.1. Définition

Un colorant est une substance chimique colorée capable de transmettre sa coloration à d'autres corps. C'est un composé organique insaturé et aromatique.

Les premières matières colorantes étaient d'origines végétales (garance, indigo, gaude...) ou même animales (carmin tiré de la cochenille). A l'heure actuelle, presque la totalité des matières colorantes employées sont des dérivées des hydrocarbures contenus dans le goudron de houille [39].

### II.2. Les types des colorants

Il existe deux types de colorants : naturels et synthétiques

➤ **Colorants naturels**

Il existe seulement une dizaine de colorants naturels, ils ont été extraits des plantes, des fruits, des arbres, des lichens, des insectes ou des mollusques par des procédés simples comme le chauffage ou le broyage [40].

➤ **Colorants synthétiques**

Les propriétés des colorants synthétiques peuvent être précisément adaptées à leur utilisation. Tous ces colorants sont synthétisés principalement à partir de produits pétroliers, notamment du benzène et de ses dérivés (toluène, naphthalène, xylène et anthracène) [41]. Ils sont de plus en plus utilisés dans l'industrie de coloration et des textiles grâce à leurs couleurs comparées aux colorants naturels [42].

### **II.3. Classification des colorants**

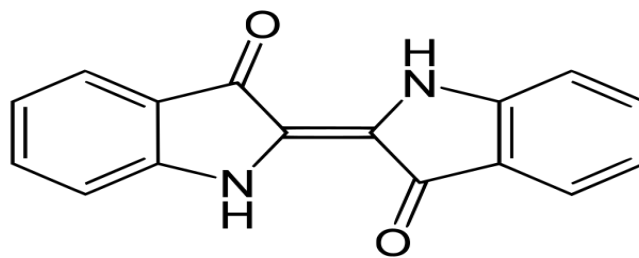
Les principes de classification les plus couramment rencontrés dans les industries textiles, sont basés sur les structures chimiques des colorants synthétiques et sur les méthodes d'application aux différents substrats (textiles, papier, cuir, matières plastiques, etc.).

#### **II.3.1. Classification chimique**

Le classement des colorants selon leur structure chimique repose sur la nature du groupement chromophore, on peut citer les colorants suivants :

##### **II.3.1.1 Les colorants indigoïdes**

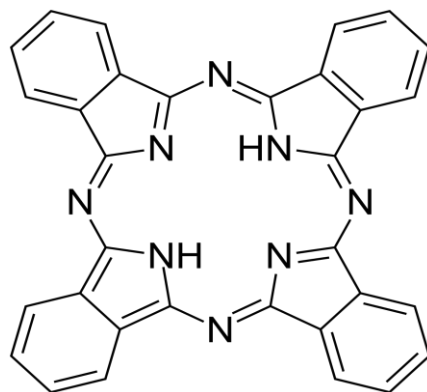
Les colorants indigoïdes tirent leur appellation de l'indigo dont ils dérivent. Les colorants indigoïdes sont utilisés comme colorant en textile, comme additifs en produits pharmaceutiques, la confiserie, ainsi que dans des diagnostics médicaux [43,44,45].



**Figure II.2 :** Structure chimique des colorants indigoïdes [46]

##### **II.3.1.2. Les colorants phtalocyanines**

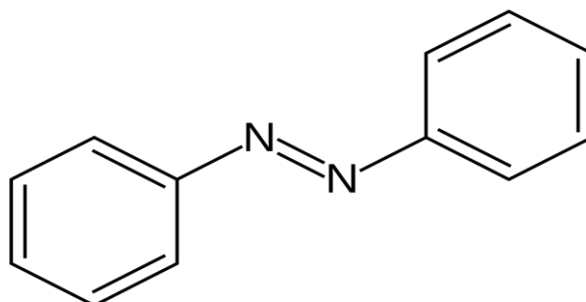
Les phtalocyanines ont une structure complexe basée sur l'atome central de cuivre. Les colorants de ce groupe sont obtenus par réaction du dicyanobenzène en présence d'un halogénure métallique (Cu, Ni, Co, Pt, etc.) [47].



**Figure II.3** : Structure chimique des colorants phtalocyanines [48].

### II.3.1.3. Les Colorants azoïques

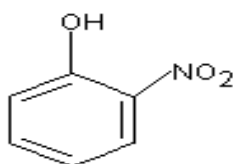
Les colorants azotés sont les colorants les plus couramment utilisés dans l'industrie textile, sont des composés organiques contenant un groupe azoté (Fig. II.4) qui s'avère être stable comme colorants de textile [49]. Les colorants azotés sont résistants à la lumière, aux acides, aux bases et à l'oxygène qui font que leur utilisation dans l'industrie textile soit très répandue [50].



**Figure II.4** : Structure chimique des colorants azoïques [51]

### II.3.1.4. Les colorants nitrés et nitrosés

Ces colorants forment une classe très limitée en nombre et relativement ancienne. Ils sont actuellement encore utilisés, du fait de leur prix très modéré lié à la simplicité de leur structure moléculaire caractérisée par la présence d'un groupe nitro (-NO<sub>2</sub>) en position ortho d'un groupement électrodonneur (hydroxyle ou groupes aminés) [52]



**Figure II.5** : structure chimique des colorants ortho nitro phénol [53]

## II.3.2. Classification tinctoriale

### II.3.2.1. Colorants solubles dans l'eau

#### ➤ Colorants acides ou anioniques

Solubles dans l'eau grâce à leurs groupes sulfonates ou carboxylates (Fig.II.5), ils sont ainsi dénommés parce qu'ils permettent de teindre les fibres animales (laine et soie) et quelques fibres acryliques modifiées (nylon, polyamide) en bain légèrement acide. L'affinité colorant-fibre est le résultat de liaisons ioniques entre la partie acide sulfonique du colorant et les groupes amino des fibres textiles [54].

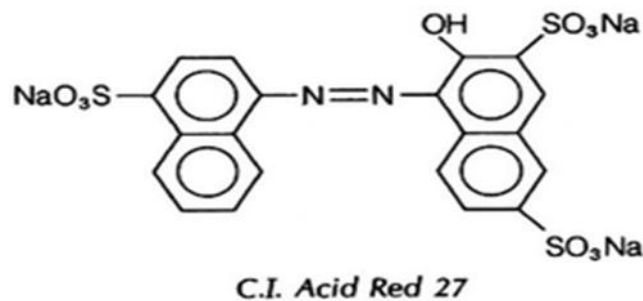


Figure II.6 : structure chimique de C.I l'acide Red 27 [55].

#### ➤ Colorants basiques ou cationiques

Les colorants basiques ou cationiques sont des sels d'amines organiques, ce qui leur confère une bonne solubilité dans l'eau. [56]. Ils sont principalement utilisés pour colorer la laine, la soie ainsi que certains nylons et polyester.

### II.3.2.2. Les Colorants insolubles dans l'eau

Ces colorants ont été créés après les difficultés rencontrées avec la teinture des acétates de cellulose. Il existe d'ailleurs plusieurs autres classes de colorants insolubles dans l'eau, exemple : colorants de cuve, colorants du soufre, et colorants d'oxydation [57].

## II.4. Toxicité des colorants

Actuellement de nombreuses stations d'épuration des industries textiles rejettent des quantités importantes d'eau et de boues colorées dans la nature. Ces rejets peuvent se transmettre à l'être humain et à l'environnement par :

- Action de vent (poussière en été) ;
- Infiltration du colorant dans les nappes phréatiques ;
- La chaîne alimentaire (végétaux, animaux) [14].

Ces rejets mènent à plusieurs dangers tels que :

- **Danger sur l'environnement par l'eutrophisation** : Sous l'action des microorganismes, les colorants libèrent des nitrates et des phosphates dans le milieu naturel. Ces ions minéraux, introduits en quantité trop importante, peuvent devenir toxiques pour la vie piscicole et altérer la production d'eau potable. Leur consommation par les plantes aquatiques accélère leur prolifération anarchique et conduit à l'appauvrissement en oxygène par inhibition de la photosynthèse dans les strates les plus profondes des cours d'eau et des eaux stagnantes [58] ;
- **Danger sur l'être humaine** : l'accumulation des doses du colorant sur certains sites de l'organisme humain provoquant des effets mutagènes, tératogènes ou cancérogènes.

## **II.5. Méthode de traitement des polluants**

Le traitement des rejets textiles, compte tenu de leur hétérogénéité de composition, conduira toujours à la conception d'une chaîne de traitement assurant l'élimination des différents polluants par étapes successives :

- La première étape consiste à éliminer la pollution insoluble par l'intermédiaire de prétraitements (dégrillage, dessablage, déshuilage...) et/ou de traitements physiques ou physico-chimiques assurant une séparation solide/liquide ;
- La deuxième étape par des techniques de traitement physique (adsorption sur charbon actif, coagulation...), ou de traitements chimique (oxydation, résine d'échange d'ions...) et biologique par traitement aérobie, anaérobie.

## Chapitre III : Partie expérimentale

Dans ce chapitre, nous exposons les réactifs et les matériels, ainsi que les méthodes expérimentales et analytiques, propres à l'élimination du colorant.

Notre travail consistait en étude de l'adsorption du colorant Rouge Bemacide (RB) sur un charbon actif granulé (CAG), tout au long de l'étude, nous avons essayé d'étudier l'influence des différents paramètres sur le processus d'adsorption qui sont : **le temps de contact, la concentration initiale du colorant, la masse de charbon, le pH de la solution et la température**. Après, nous avons fait une modélisation des résultats obtenus ; Enfin, nous avons étudié les isothermes d'adsorption.

### III.1. Matériels et appareillages

#### III.1.1. Matériels utilisés

- Bécher
- Erlenmeyers
- Eprouvette gradué
- Fioles jaugées
- Pipette et pro pipette
- Spatule
- Entonnoir
- Verre de montre
- Pissette pour l'eau distillée
- Tubes à essais
- Dessiccateur en verre
- Burette graduée
- Barreau magnétique
- pH-mètre
- Agitateur magnétique
- Etuve
- Balance analytique
- Centrifugeuse

### III.1.2. Appareillage

Un spectrophotomètre UV visible (Chimadzu UV- mini1240), l'analyse par cet instrument s'appuie sur le fait que toute solution colorée traversée par un faisceau de lumière laisse passer une fraction de lumière incidente, la quantité de lumière absorbée est proportionnelle à la concentration du composé coloré recherché comme le montre la loi de **Beer-Lambert** :

$$Abs = \log \left( \frac{I_0}{I} \right) = \log \left( \frac{1}{T} \right) = \varepsilon \times l \times C \dots \dots \dots (III. 1)$$

Avec :

$T$  : facteur de transmission.

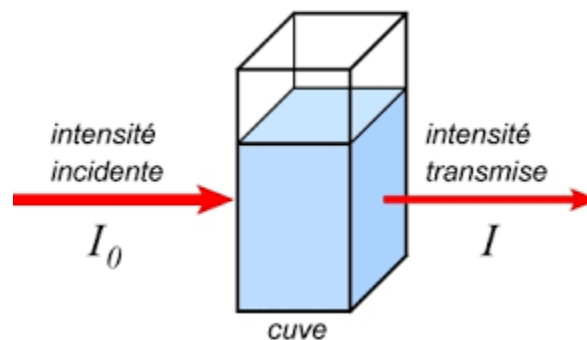
$A$  : absorbance ou densité optique.

$C$  : concentration massique du composé dosé.

$I, I_0$  : intensité du faisceau émergent et incident.

$\varepsilon$  : Coefficient d'extinction.

$L$  : épaisseur de la cuve.



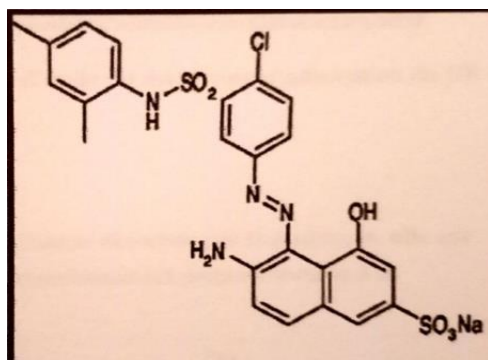
**Figure III.1** : Dosage d'une espèce chimique en solution

### III.2. Produits utilisés

#### III.2.1. Le rouge Bemacide

Le colorant industriel synthétique (Rouge Bemacide) destinés à la teinture des textiles chimiques de nature polyamide. Les colorants utilisés dans ce présent travail, appartiennent au groupe E qui se distingue par un niveau élevé de solidité à la lumière, un bon pouvoir de migration, un bon pouvoir couvrant les striures d'origine cinétique, une bonne combinabilité, un épuisement rapide même à basse température et une fixation rapide à la vapeur saturée.





**Figure III.2 :** Structure chimique du colorant Rouge Bemacide [59].

**Tableau III.1 :** Quelques propriétés physico-chimiques des colorants étudiés.

<i>Propriétés</i>	<i>Le rouge Bemacide</i>	<i>Rouge Bemacide en poudre</i>
<i>La formule brute</i>	C <sub>24</sub> H <sub>20</sub> ClN <sub>4</sub> NaO <sub>6</sub> S <sub>2</sub>	
<i>La masse molaire (g/mol)</i>	583	
<i>λ max (nm)</i>	504	
<i>Caractérisation chimique</i>	Colorant acide anionique	
<i>Couleur</i>	Rouge foncé	

### III.2.2. Les produits utilisés pour l'ajustement du pH

- Solution de NaOH (0,1N) pour l'ajustement de pH dans les milieux basiques.
- Solution d'HCl (0,1N) pour l'ajustement de pH dans les milieux acides.

### III.3. Adsorption de Rouge Bemacide

#### III.3.1. Préparation des solutions de Rouge Bemacide

Pour préparer une solution mère de rouge Bemacide de concentration 1000 mg/L on pèse 1g de poudre de rouge Bemacide et on la rajoute dans une fiole jaugée de 1000 mL et on les dissout dans la quantité d'eau, la plus faible possible, ensuite on agite, la fiole étant fermée jusqu'à ce que la masse se dissolve, on complète alors avec de l'eau distillée jusqu'au trait de jauge (1000 mL), la concentration correspondante est de 1000 mg/L.

Les solutions de faibles concentrations ont été préparées à partir de la solution mère.

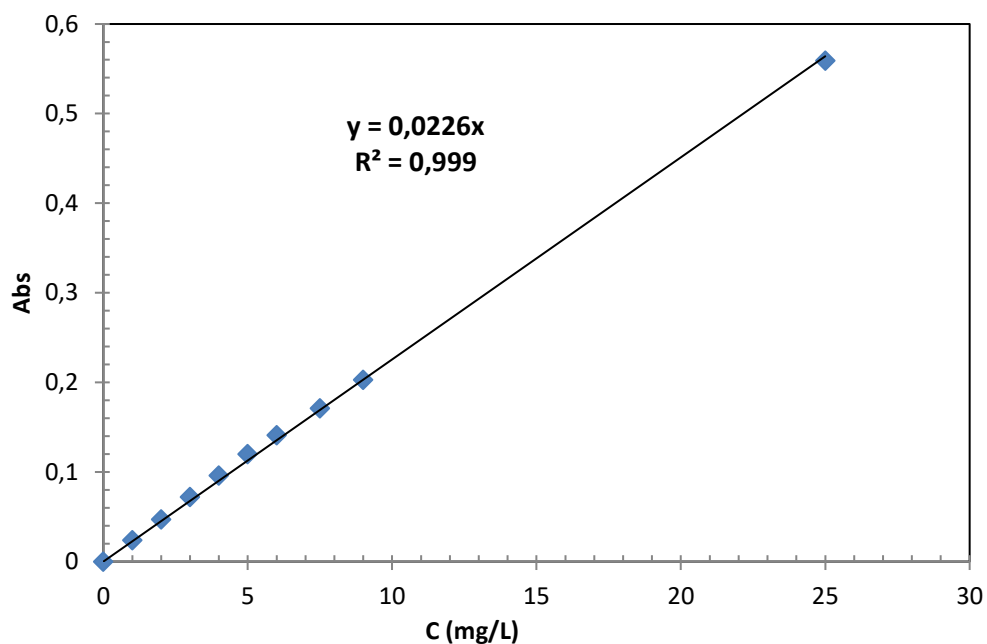
#### III.3.2. Etablissement de la courbe d'étalonnage

A partir de la solution mère, préparation par dilutions successives d'une série de solutions de concentrations bien déterminées de 1 à 9 mg/L. Celles-ci sont, par la suite, analysées par spectrophotométrie UV visible après filtration ou centrifugation. La droite d'étalonnage ainsi établie représente la densité optique, au maximum de la bande d'absorption, en fonction de la concentration C et qui obéit à la relation de Beer-Lambert.

Le spectre d'absorption de rouge Bemacide présente un pic à la longueur d'onde  $\lambda_{\max} = 504 \text{ nm}$ , c'est donc cette longueur d'onde qui a été utilisée pour faire les mesures par la suite. La droite d'étalonnage présentée sur la Figure III.4 pour le rouge Bemacide, montre une bonne linéarité. Il faut noter que les échantillons ont été filtrés avant l'analyse afin d'éviter toute perturbation due à la présence de solide en suspension. Les résultats obtenus sont regroupés dans le tableau III.2 et représentés graphiquement sur la figure (III.3).

**Tableau III.2** : la courbe d'étalonnage de rouge Bemacide

<i>C</i> (mg/L)	0	1	2	3	4	5	6	7.5	9	25
<i>Abs</i>	0	0,024	0,047	0,072	0,096	0,120	0,141	0,171	0,203	0,559



**Figure III.3** : Courbe d'étalonnage de rouge Bemacide

On constate que la courbe est une droite avec un coefficient de corrélation égale à **0,9993** représentant un bon ajustement linéaire.

L'équation de la droite donnant l'absorbance A en fonction de la concentration du

Rouge Bemacide est :  $Abs = 0,0226 \times C$ . Cette équation sera utilisée pour calculer la concentration d'une solution inconnue de rouge Bemacide.

### III.3.3. Optimisation des paramètres d'adsorption

Afin de déterminer les meilleures conditions d'adsorption du colorant, notre étude a porté sur la variation des paramètres suivants :

#### III.3.3.1. Effet du temps de contact sur l'adsorption de rouge Bemacide

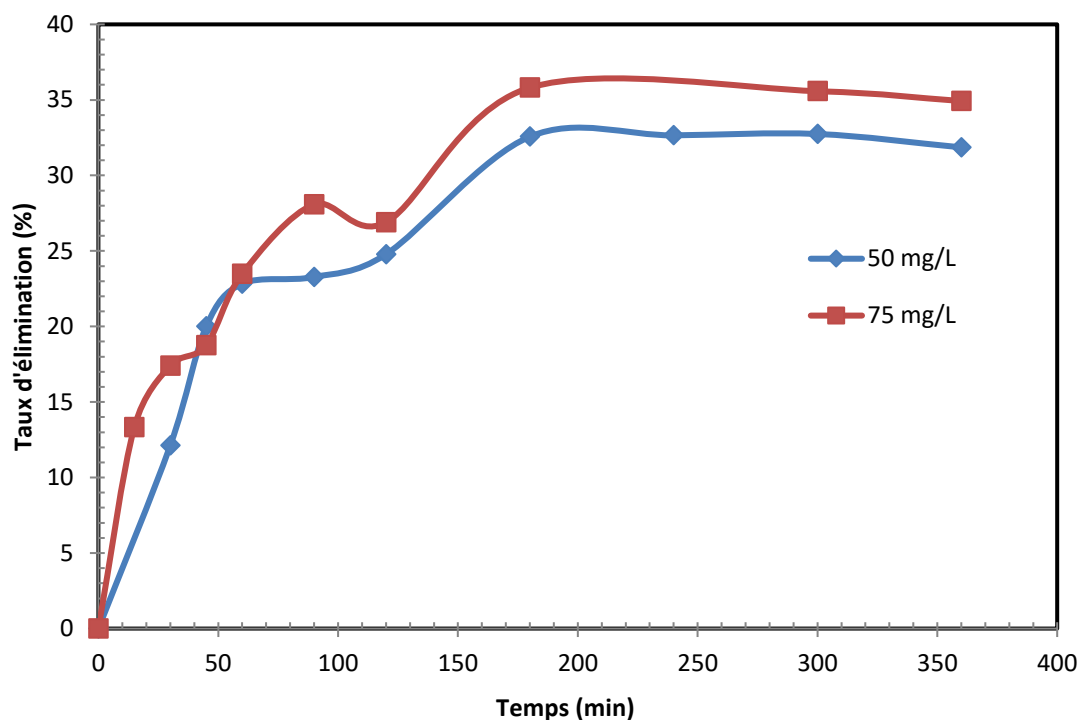
Afin d'étudier le temps de contact nécessaire pour atteindre l'équilibre d'adsorption pour le rouge Bemacide, nous avons préparé deux solutions du colorant de concentrations de 50 mg/L et 75mg/L et nous avons suivi la procédure suivante :

Dans une série des béchers, nous avons mis 25 mL de la solution préparée puis nous avons introduit 0,1g de charbon actif. L'ensemble des béchers sont agités à des temps d'agitation de 15 min à 360 min, puis centrifugé pour séparer l'adsorbat de l'adsorbant. La lecture est faite par spectrophotométrie ultra-violet / visible.

Les résultats obtenus sont regroupés dans le tableau III.3 et représentés graphiquement sur la figure III.4.

**Tableau III.3:** Étude de temps d'équilibre de l'adsorption de rouge Bemacide

<i>t (min)</i>	0	15	30	45	60	90	120	180	300	360
<b>50 mg/L</b>										
<i>C<sub>e</sub> (mg/L)</i>	0		43,94	40	38,58	38,36	37,61	33,72	33,63	34,07
<i>Taux d'élimination (%)</i>	0		12,12	20	22,83	23,27	24,78	32,57	32,74	31,86
<b>75 mg/L</b>										
<i>C<sub>e</sub> (mg/L)</i>	0	65	61,95	60,93	57,39	53,94	54,82	48,14	48,32	48,80
<i>Taux d'élimination (%)</i>	0	13,33	17,40	18,76	23,48	28,08	26,90	35,81	35,57	34,93



**Figure III.4 :** Evolution du taux d'élimination en fonction du temps

D'après les résultats de figure III.4, nous avons remarqué que le taux d'élimination du rouge Bemacide augmente avec l'évolution de temps. Après 180 min de l'interaction nous avons remarqué qu'il y a formation d'un palier de saturation et que le taux d'élimination reste stable donc le temps 180 min est considéré comme temps optimal pour cette application.

#### III.4.3.2. Effet de la dose de l'adsorbant sur l'adsorption de rouge Bemacide

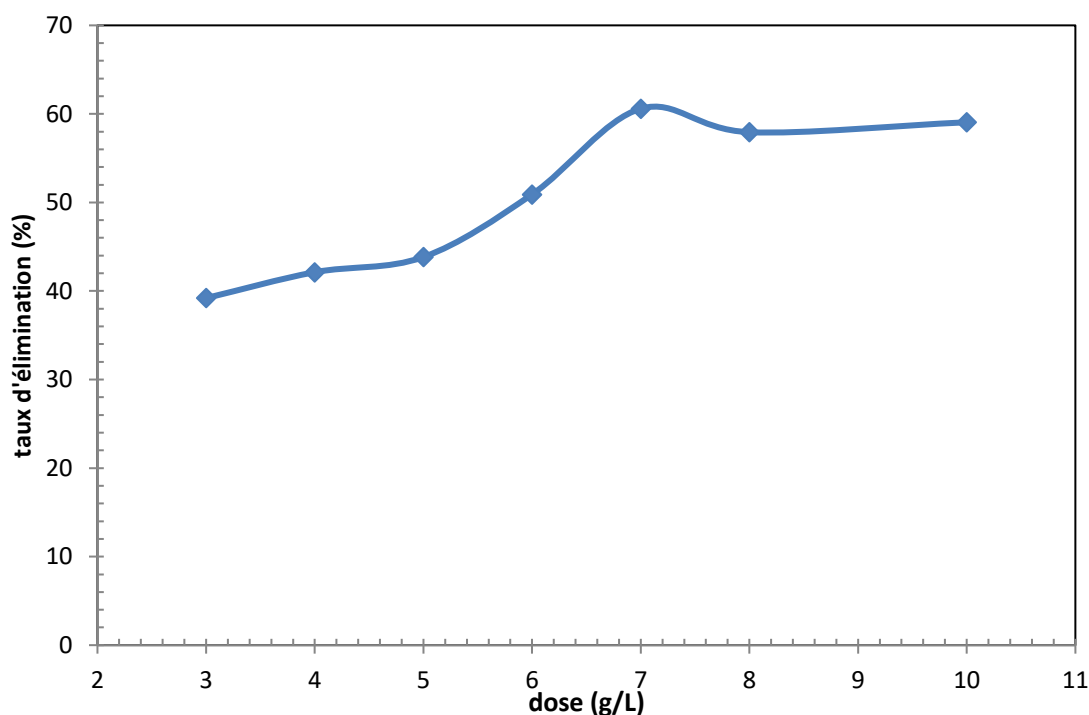
On introduit dans une série de béciers contenant successivement des masses de 0,075 ; 0,1 ; 0,125 ; 0,150 ; 0,175 ; 0,2 ; et 0,25 grammes de notre adsorbant et 25 ml de la solution de rouge Bemacide de concentration de 75 mg/L.

L'ensemble est agité pendant 180 min puis centrifugé et analysé par un spectrophotomètre.

Les résultats de ces mesures sont regroupés dans le tableau III.4 et représentés graphiquement sur la figure III.5.

**Tableau III.4 :** Effet de la dose sur l'adsorption de rouge Bemacide

<i>Dose (g/L)</i>	3	4	5	6	7	8	10
<b>Taux d'élimination (%)</b>	39,203	42,123	43,834	50,914	60,589	57,935	59,056



**Figure III.5 :** Evolution de taux d'élimination du rouge Bemacide en fonction de la dose

La figure III.5 montre qu'une augmentation dans la masse du charbon cause une augmentation du taux d'élimination, et que le taux maximal d'adsorption de rouge Bemacide est atteint pour une dose de charbon égale à **7g /L**.

Par conséquent, on va utiliser cette nouvelle dose pour toutes les expériences d'adsorption suivantes.

#### **III.4.3.3. Etude de l'influence de pH de la solution sur l'adsorption de rouge Bemacide**

Le pH joue un rôle important dans le processus d'adsorption. Beaucoup d'études on montre que le pH est un important pour la détermination du potentiel d'adsorption des composés organiques cationiques et anioniques.

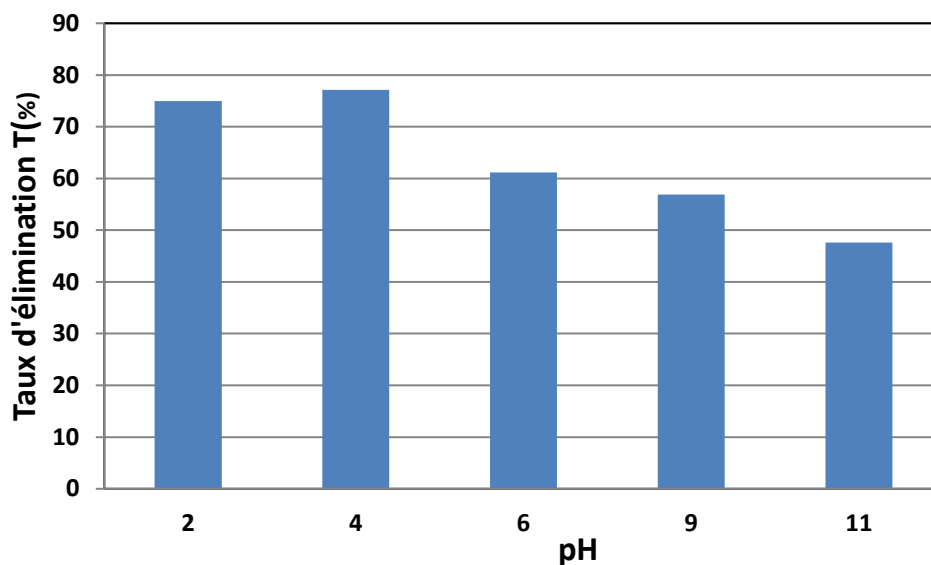
Afin d'étudier l'effet de pH sur l'adsorption de rouge Bemacide, on a préparé une série des béchers dont les quels on a versé 25 ml d'une solution de concentration 75 mg/L, et on a ajusté le pH à déférentes valeurs (2 ; 4 ; 6 ; 9 ; 11), puis on a introduit une masse de 0,175 g de charbon actif. Le pH a été ajusté par l'addition de HCl (0,1N) ou NaOH (0,1N).

Le mélange est agité pendant un temps de 180 min, puis filtré et analysé par Spectrophotomètre.

Les résultats de la variation du taux d'adsorption en fonction du pH sont rassemblés dans le tableau III.5 et représentés graphiquement dans la figure III.6.

**Tableau III.5:** Les résultats de l'influence de pH sur l'adsorption (75 mg/L)

pH	2	4	6	9	11
T (%)	74,985	77,109	61,179	56,873	47,610



**Figure III.6 :** Taux d'élimination en fonction de pH

D'après la figure III.6 on constate que le meilleur taux d'élimination est obtenu d'une manière générale à pH acide, et que le taux d'élimination atteint son maximum à un **pH** égal à **4**. Ce pH va être établi l'isotherme d'adsorption.

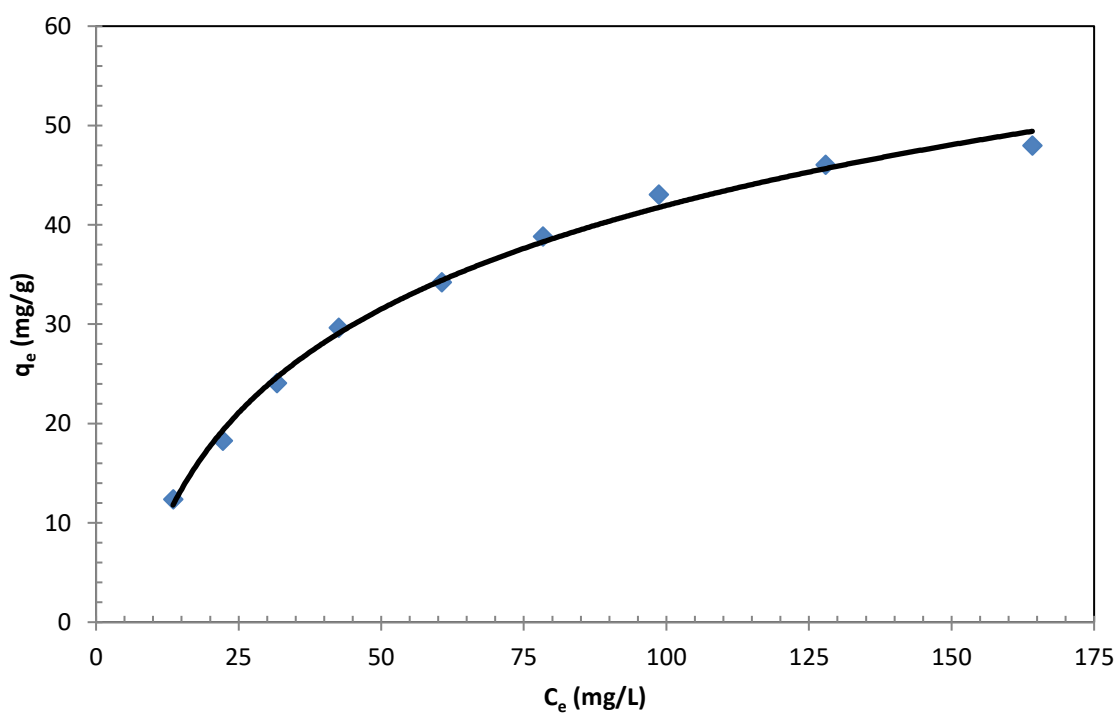
#### **III.4.4. Isothermes d'adsorption**

L'isotherme d'adsorption est une caractéristique qui représente l'équilibre thermodynamique adsorbant-adsorbat. Il exprime la quantité d'adsorbat présente sur l'adsorbant  $q_e$  (mg/g) en fonction de la quantité d'adsorbat restant en solution  $C_e$  (mg/L).

Pour étudier l'isotherme d'adsorption, on prépare une série des béchers contenant 25 ml de solution de concentration qui varient entre 100 et 500 mg/L a lesquelles on a ajouté la dose de l'adsorbant trouvé auparavant et ajusté un pH=4. L'ensemble des béchers sont agités pendant 180 min, puis centrifugés et analysés. Les valeurs de cette étude sont mentionnées dans le tableau III.6.

**Tableau III.6:** Résultats obtenues d'isotherme d'adsorption du RB

$C_0$ (mg/L)	$C_e$ (mg/L)	$q_e$ (mg/g)
100	13,495	12,357
150	22,212	18,255
200	31,725	24,039
250	42,522	29,639
300	60,619	34,197
350	78,318	38,811
400	98,672	43,046
450	127,876	46,017
500	164,159	47,977



**Figure III.7 :** Isotherme d'adsorption de rouge Bemacide

D'après la figure III.7 et selon la classification de Giles, l'isothermes obtenue est du **type L**, la quantité adsorbée augmente avec l'augmentation de la concentration du polluant jusqu'à atteindre un palier indiquant la saturation des sites de la surface et donc formation d'une monocouche.

### III.4.6. Modélisations

Pour la modélisation d'isotherme d'adsorption obtenue, nous avons choisie trois modèles ;  
Modèle de Langmuir, Modèle de Freundlich, Modèle de Temkin.

Les valeurs de cette étude sont récapitulées dans le tableau (III.6) et représentées graphiquement sur les figures III.8, III.9, et III.10 :

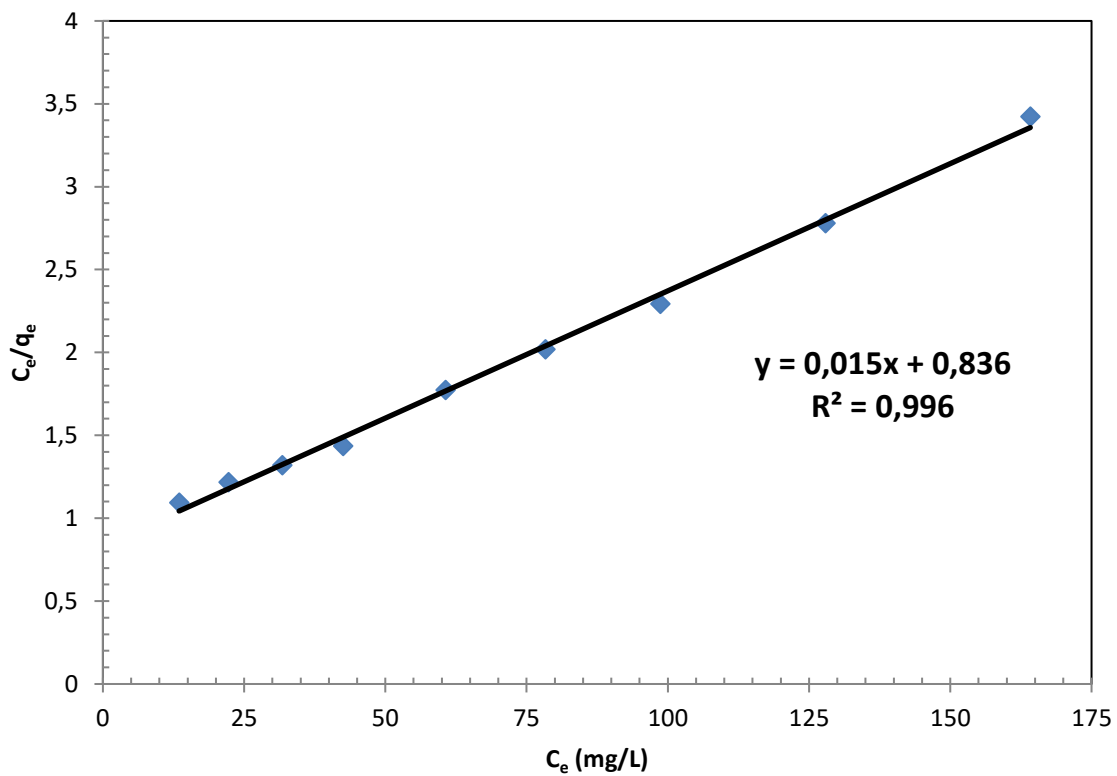
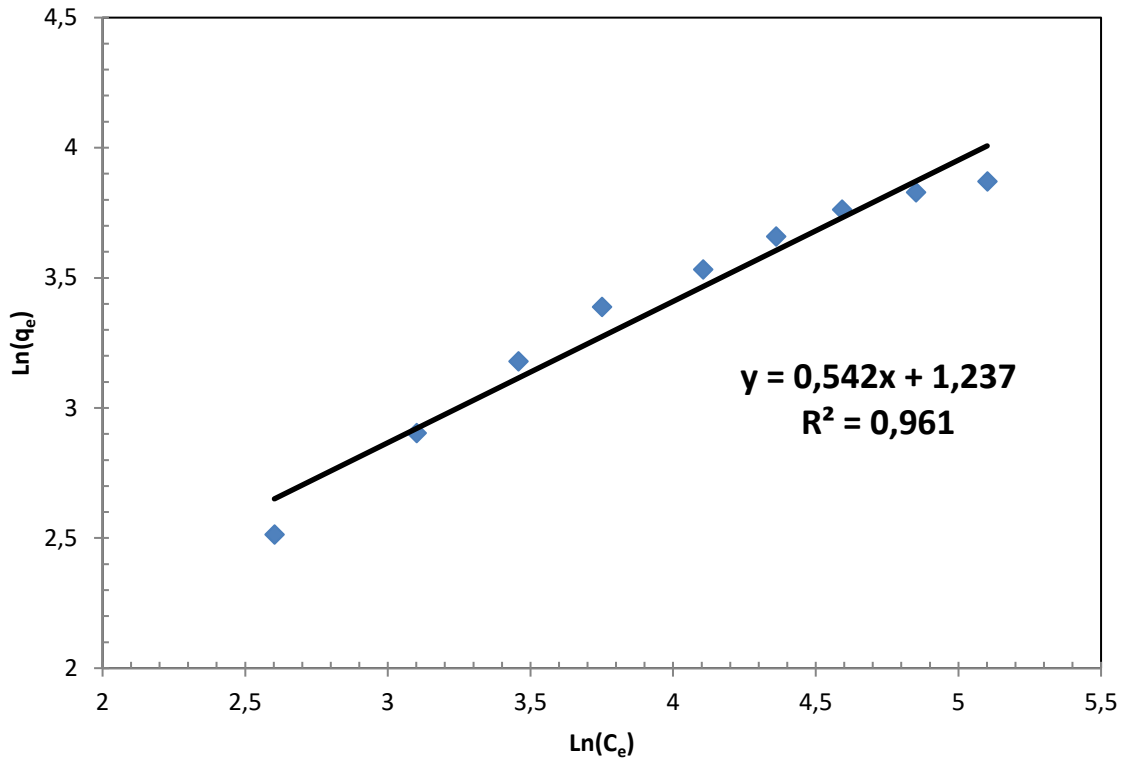
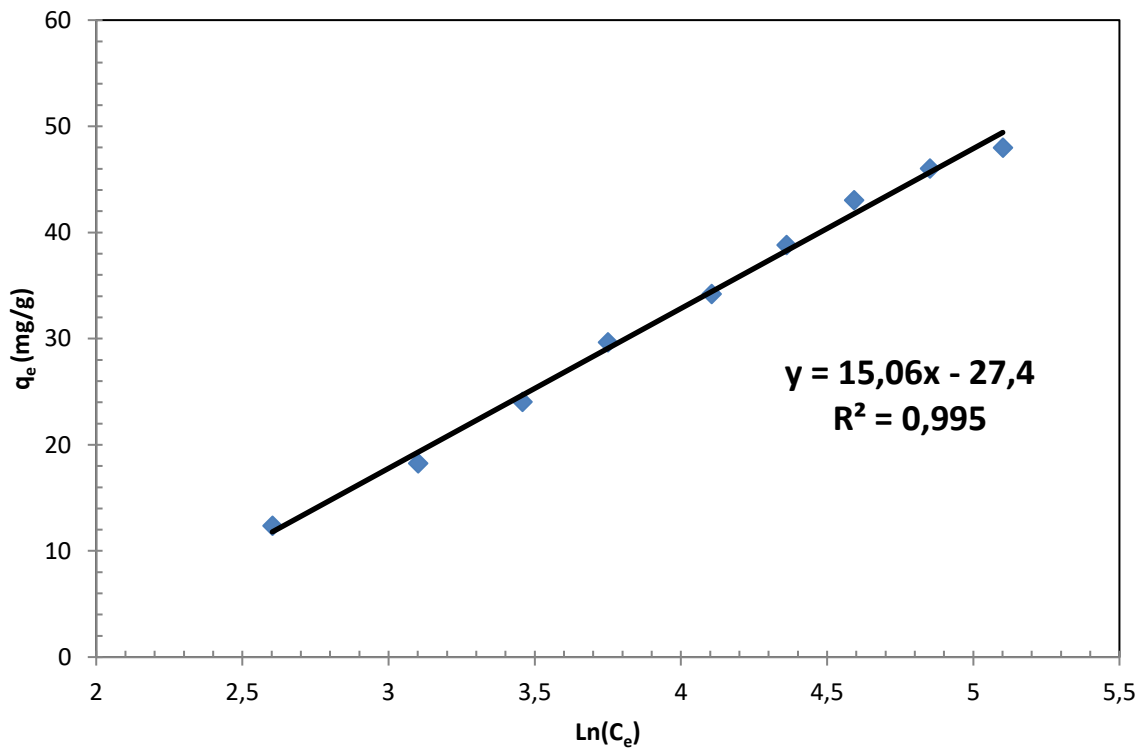


Figure III.8 : Application du modèle de Langmuir pour l'adsorption de rouge bémacide





**Figure III.9** : Application du modèle de Freundlich pour l'adsorption de rouge Bemacide



**Figure III.10** : Application du modèle de Temkin pour l'adsorption de rouge Bemacide

A partir des modèles tracés dans les figures (III.08) ; (III.09) et (III.10), on a regroupé les principaux paramètres pour chaque modèle dans le tableau (III.7).

**Tableau III.7** : les principaux paramètres de chaque modèle.

<i>Langmuir</i>			<i>Freundlich</i>			<i>Temkin</i>		
<i>b</i>	<i>K<sub>L</sub></i>	<i>R<sup>2</sup></i>	<i>n</i>	<i>K<sub>F</sub></i>	<i>R<sup>2</sup></i>	<i>b<sub>T</sub></i>	<i>K<sub>T</sub></i>	<i>R<sup>2</sup></i>
66,67	0,017	0,996	1,845	17,258	0,961	164,513	0,162	0,995

Suivant les résultats illustrés sur le tableau (III.07) le modèle de Langmuir convient parfaitement à cette adsorption avec une capacité d'adsorption de 66,67 mg/g, la constante de Freundlich supérieur à 1 confirme qu'il y a une grande affinité entre l'adsorbant et l'adsorbat.

Les figures (III.07), (III. 08), (III.09), (III.10) et le tableau (III. 7) nous montrent que :

- La capacité d'adsorption du rouge Bemacide par l'adsorbant augmente remarquablement avec l'augmentation de la concentration initiale.
- L'isotherme d'adsorption présente un palier indiquant la saturation des sites de la surface et donc formation de la monocouche.
- Les droites obtenues avec un bon coefficient de corrélation montrent que dans nos conditions expérimentales, l'adsorption de rouge Bemacide sur le charbon actif suit les trois modèles : de Langmuir, Freundlich et de Temkin d'une façon acceptable dans les trois figures : (III.08), (III.09) et (III.10).
- La pente et l'ordonnée à l'origine déterminent la capacité maximale d'adsorption *b* ainsi que la constante *K* pour l'adsorbant étudié.

## Conclusion générale

L'objectif de cette étude est de montrer l'intérêt du procédé d'adsorption sur l'élimination des colorants. Elle concerne l'adsorption du colorant (Rouge Bemacide) sur un charbon actif granulé préparé au laboratoire à base de noyaux d'olives suivie d'une optimisation de la capacité d'adsorption par la planification des expériences en utilisant les analyses spectroscopiques (UV-vis).

Nous avons étudié l'influence du temps de contact, la concentration initiale du colorant, la masse de charbon et le pH de la solution sur le processus d'adsorption du colorant Rouge Bemacide sur le charbon actif préparé. Les résultats montrent une bonne élimination du polluant organique choisi. L'élimination de Rouge Bemacide par le charbon actif est rapide pendant les premières minutes de contact jusqu'à l'obtention d'un palier qui correspond à l'équilibre au bout de 180 minutes. Qui est considéré comme le temps optimal pour cette application, L'étude de l'effet du pH montré que l'efficacité de fixation de colorant atteinte son maximum à un pH égal à 4. Et a une dose de charbon égale à 7 g /L.

L'accumulation de rouge Bemacide croit avec la quantité d'adsorbant introduite. Ce résultat s'explique par l'augmentation de la surface de contact offerte par l'adsorbant.

L'adsorption de rouge Bemacide sur le charbon actif a été modélisée en utilisant les isothermes les plus courants tels que les modèles de Langmuir, Freundlich et de Temkin.

Les isothermes qui décrits mieux les différents tests d'adsorptions est celui de Langmuir et Temkin, avec une capacité d'adsorption maximale de 66,67 mg / g et un coefficient de corrélation de 0,996 dans le model de Langmuir.

Le procédé de séparation par adsorption sur divers matériaux solides reste parmi les techniques les plus utilisé et les plus faciles à mettre en œuvre dans le domaine de dépollution et de traitement des eaux. On conclut que le charbon actif s'est avéré un adsorbant efficace à faible coût pour l'élimination des colorants anioniques des eaux usées.

## Références bibliographiques

- [1] H. Sadki, K. Ziat et M. Saidi, Adsorption d'un colorant cationique d'un milieu aqueux sur une argile locale activée, Université Abdelmalek Essaàdi, Tanger-Maroc. (2014).
- [2] Messaliti. F, Etude d'élimination du vert malachite et le rouge Congo par des adsorbants issu des déchets ménagers, Mémoire master Université Abdelhamid ibn badis (2019)
- [3] M. Elkassimi, D. Meziane, S Abouarnadasse, H. Azizi, Elimination des colorants de l'industrie de textile par le charbon de bois. Proceeding de la 2ème conférence Maghrébine de génie des procédés, (1998) 555-558.
- [4] M. J. Ahmed, S. K. Dhedan, Equilibrium isotherms and kinetics modeling of methylene Blue adsorption on agricultural wastes-based activated carbons. Fluid. Phase. Equilibria. 317(2012) 9-14.
- [5] S.R. Shirsath, A.P. Patil, J. Patil, J. B. Naik, P.R. Gogate, S.H Sonowane, Removal of brilliant Green from wastewater using conventional and ultrasonically prepared poly (acrylic acid) hydrogel loaded with kaolin clay: A comparative study. Ultrasonics. Sono Chemistry (2013).
- [6] L.M. Sun, F. Meunier, N. BRODU, Marie-Hélène, Adsorption-Aspects théoriques. Techniques de l'ingénieur, J 2730-(2020).
- [7] Emna Errais, Réactivité de surface d'argiles naturelles : Etude de L'adsorption de colorants anioniques, Thèse du diplôme de docteur de l'université de Strasbourg (Géochimie de l'environnement) (2011).
- [8] R. Desjardins, Traitement des eaux, 2<sup>ème</sup> édition revue (1990).
- [9] A. Talidi A, Etude de l'élimination du chrome et du bleu de méthylène en milieu aqueux par adsorption sur la pyrophyllite traité et non traité, Thèse doctorat, Université Mohammed V-Agdal Rabat (2006).
- [10] Tessaoui .M, Élimination d'un colorant basique par charbon actif préparé, Mémoire master Université Abdelhamid ibn badis (2022).
- [11] Boumediene .H, Etude de l'adsorption du bleu de méthylène sur un bio adsorbant à base d'un déchet de bois, Mémoire master université Abdelhamid ibn badis (2022).
- [12] Weber.W.J. Jr. & Van vliet, B.M. in Activated carbon adsorption of organics from the aqueous phase (eds. Suffet I.H. & McGuire, M.J.) (Ann Arbor Science, Ann Arbor Michigan, 1980).
- [13] N. Barka, L'élimination des colorants de synthèse par adsorption sur un phosphate naturel et par dégradation photo catalytique sur TiO<sub>2</sub> supporté, thèse doctorat, Agadir, (2008).

- [14] Gharbi Hanane kheira, Guentrah Khadidja, Isothermes d'adsorption d'un polluant de l'industrie textile, Mémoire de Master, Génie chimique université de Mostaganem (2021).
- [15] Belkebir. Z, Valorisation des déchets agro-alimentaires cas des grignons d'olives, Mémoire de Magister, Université de Boumerdes, (2007)
- [16] E. KOLLER, Génie chimique, Edition Dunon, (2001).
- [17] Khezzane. A, Dépollution par charbon actif d'une eau contaminée par le Rouge Congo, Mémoire de master Université Echahid Hamma Lakhdar. El Oued (2017).
- [18] Mbaye Gueye, Synthèse et étude des charbons actifs pour le traitement des eaux usées d'une tannerie. Ouagadougou, Burkina Faso (2008).
- [19] K. F. T, Etude des performances des charbons actifs préparés à partir de biomasses tropicales pour l'élimination du chrome et diuron en milieu aqueux, Ouagadougou, Burkina Faso, 2012.
- [20] Zitouni. F, Benchaâ. Z, Etude de la fixation des colorants issus de l'industrie textile par un charbon actif préparé, Mémoire de master Université de Mostaganem, Algérie, (2018)
- [21] Z. Mekibes, Fixation de polluants émergents par des supports lignocellulosiques, Thèse de doctorat, Université de Mostaganem, Algérie, (2021).
- [22] Yahiaoui Nouara, Etude de l'adsorption des composés phénoliques des margines d'olive sur carbonate de calcium, hydroxyapatite et charbon actif, Mémoire de Magister, (2012).
- [23] Hadj Salah, N., Etude de la dégradation photo catalytique de polluants organiques en présence de dioxyde de titane, en suspension aqueuse et en lit fixe. Thèse de doctorat, Université de Constantine, (2012).
- [24] BELLIR K., Caractérisation de la rétention du cuivre par des matériaux naturels utilisés dans l'imperméabilisation des décharges, Thèse Magistère, Université de Constantine, Algérie, (2002).
- [25] DEBBAZ. A, Préparation et caractérisation d'un charbon actif à partir d'un déchet agricole. Mémoire de master, Université Kasdi Merbah Ouargla, (2016).
- [26] N. Bouziane, Elimination du 2-mercaptobenzothiazole par voie photochimique et par adsorption sur la bentonite et le charbon actif en poudre, Mémoire de Magister En Chimie, Université Mentouri de Constantine. (2007).
- [27] Boualla. N, et Benziane. A, Étude expérimentale sur l'élimination des nitrates par adsorption sur des argiles activées et non activées de la sebkha d'Oran, Afrique science 07(2) 56 – 73 (2011).
- [28] Naima Gherbi, Etude expérimentale et identification du processus de rétention des cations métalliques par des matériaux naturels, Thèse du doctorat, (2008).

- [29] N. Bougdah, « Etude de l'adsorption de micropolluants organiques sur le Bentonite » (2007).
- [30] Boussaid Mejda, Etude de l'adsorption du diclofénac sur divers adsorbants en eau distillée. Effet des paramètres opératoires, Mémoire de Master, Université Mohamed khider – Biskra (2020)
- [31] J. Zeldovitch d'après J. Chaussidon, A. Jelli. Chimie physique des phénomènes de surface, Masson et Cie (1971).
- [32] Hammou.D, Elimination d'un polluant par deux charbons actifs Préparé à partir d'un déchet végétal, Mémoire master Université Abdelhamid ibn badis (2022).
- [33] Louis Robert, opération unitaire « adsorption » technique de l'ingénieur, J.2730 a-9, (2000).
- [34] Cassanph, Baglin A, Frit D., Les hyperoxaluries Revue de médecine (Cinetique bendada) ;17 ; 803-808 (1976).
- [35] H. D. Baehr, Thermodynamique-Eline Einfuhrung in die Grundlagen und ihre technischen Anwendungen, B. H. Springer, Éd., Berlin, p. 460 (1988).
- [36] J. C. W. J. Weber Jr, J. Saint, Kinetics of Adsorption on Carbon from Solutions. Eng Div. Am Soc Civil Eng, (1963).
- [37] J.A. Moore, Chimie organique moderne, travaux pratiques, MASSON, (1975).
- [38] K. Mehdjoubi, M. Belmimouni, « Essais d'élimination d'un colorant basique en solution aqueuse synthétique par certains matériaux déchets traités », Université de Tlemcen, (2010).
- [39] R. Perrin, J. Pscharff, Chimie industrielle, 2<sup>ème</sup> Edition Dunod, Paris, 661-679 (1999).
- [40]. D. Chebli, 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 Farhat Abbas-Sétif-Algérie (2012).
- [41]. M. Dore. Chimie des oxydants et traitement des eaux. Edition Paris (1989).
- [42]. G. Simon. Guide des techniques de l'ennoblissement textile. Chapitre 11, édition industrie textile (1982).
- [43] 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 Abbés, Algérie, (2016).
- [44] Al-Qodah, Z. « Adsorption of dyes shale oil ash. Water. », Res.34 (17), 4295- 4303 (2000).

- [45] Meena, K; Mishra, G.K; Rai, P.K; Rajagopal, C; Nagar, P.N. « Removal of heavy metal ions from aqueous solutions using carbon aerogel as an adsorbent. », *J. Hazard. Mater.* 122, 161–170 (2005).
- [46] Krazini. I « Elimination d'un colorant anionique par adsorption » mémoire master Université Abdelhamid ibn badis (2014).
- [47] Z. Guivarch E., « Traitement des polluants organiques en milieu aqueux par procédé électrochimique d'oxydation avancée, électro-fenton, application à la minéralisation des colorants synthétiques », thèse de Doctorat, Université de Marne-la-Vallée, 24 septembre 2004.
- [48] Seghir Bakir .H « Elimination d'un colorant industriel en solution aqueuse par argile anionique de type hydrotalcite », mémoire master Université Abdelhamid ibn badis (2014).
- [49] Selhan Karagöz , Turgay Tay, Suat Ucar, Murat Erdem. « Activated carbons from waste biomass by sulfuric acid activation and their use on methylene blue adsorption ». *Bioresour Technol* 99, 6214–6222 (2008).
- [50] Emmanuel Tertre. « Adsorption de Cs<sup>+</sup>, Ni<sup>2+</sup> ET des lanthanides sur une kaolinite et une smectite jusqu'à 150°C : étude expérimentale et modélisation », Thèse de doctorat, université de Toulouse, (2005).
- [51] Zourgui. B « Adsorption du bleu de méthylène par l'argile illite montmorillonite de la région de Naima -Tiaret -Algérie chimiquement modifiée », (2022).
- [52] Mr. Noureddine Barka, Thèse de doctorat « L'élimination des colorants de synthèse par adsorption sur un phosphate nature et par dégradation photo catalytique sur TiO<sub>2</sub>-supporte » Université Ibn Zohr (Faculté des sciences) Agdir, (2008)
- [53] Bouazza F, Mémoire de Magister (Chimie inorganique et Environnement), « Elimination des polluants organiques par des argiles naturelles et modifiées », Université Aboubekr Belkaid –Tlemecen, (2012)
- [54] N. MAMERI « Traitement des effluents textiles et de l'eau de mer par Electrocoagulation » mémoire de Magister, Université de Boumerdes, (2013).
- [55] : J-Jacques Donzé, Techniques de l'ingénieur, colorants textiles, 10 janv 1988.
- [56] Barrett.E.P, Joyner,L.G and Halenda.P.P., The Determination of Pore Volume and Area Distributions in Porous Substances. I. Computations from Nitrogen Isotherms. *Journal of the American Chemical Society*, 73, 373-380. (1951)
- [57] Y.S.Ho ,G.McKay, Pseudo-second order model for sorption processes, *Process Biochem.*34, 451-465 (1999).

**[58]** Ykhlef. L, Contribution a la valorisation de luffa cylindrica », Thèse doctorat, Université de Médéa (2013).

**[59]** TAIB. A, SEGHIR. B « Rétention du colorant Rouge Bemacide par une argile locale », Mémoire de Master, université A.I.B. Mostaganem (2022).