

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية  
وزارة التعليم العالي و البحث العلمي

République Algérienne Démocratique et Populaire  
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

Université de RELIZANE  
Faculté des Sciences et de la Technologie  
Département : Génie de procédés



MEMOIRE

En vue de l'obtention du diplôme de MASTER en :  
Génie Chimique

Intitulé

**Étude de l'adsorption du Bleu de Méthylène sur  
un charbon actif modifié**

**Présenté par :**

Mlle : Kheddaoui Wiam

Mlle : Abid Fatima zohra

**Devant les membres de jury :**

**Président :** Mme Seghier Sorraya Maître de conférences (A) (U. Relizane)

**Encadrant :** Mme Dahmani Khadidja Maître de conférences (A) (U. Relizane)

**Examineur :** Mme Benelhadj Djelloul Yamina Maître de conférences (B) (U. Relizane)

**Année universitaire : 2024/2025**

---

## **Remerciement**

Avant tout, nos remerciements vont à notre Dieu tout puissant, qui nous a éclairé le chemin tout au long de nos études et qui nous a donné le courage et la volonté à fin d'achever ce travail.

Nous tenons à remercier notre encadrant Mme Dr. ***Dahmani*** pour tous ses efforts qu'elle a consenti pour le bon déroulement de ce travail.

Nous adressons notre profond remerciement à monsieur ***Seif-eddine Chelili*** pour son aide dans la partie pratique.

---

---

# *Dédicace*

*Je dédie ce mémoire*

*A mes chers parents,*

*A mes professeurs au cycle secondaire, Monsieur  
Saadaoui, Monsieur Beldjilali et Madame Safer*

*Kheira.*

*A mes professeurs au cycle moyen, Madame Djaloutte et  
Monsieur Aoued.*

*A tous mes amis, en particulier Ghribi Souhaila et Rahis  
Hayet.*

*Wiam kheddaoui.*

---

---

# *Dédicace*

*A ma famille.*

*Fatima zohra Abid.*

---

---

***Résumé :***

Cette étude est focalisée sur l'optimisation des conditions opératoires sélectionnées pour l'élimination d'un colorant Bleu de Méthylène (***BM***) par le charbon actif poudré (***CAP***).

L'évaluation des facteurs influents et leurs interactions a mis en œuvre l'utilisation des isothermes d'adsorption. Cette approche a été effectuée dans le domaine d'étude des différents prédictors choisis tels que : la dose de l'adsorbant et le temps de contact.

La modélisation du processus étudié a prouvé l'adéquation statistique des données expérimentales aux résultats théoriques issus du modèle postulé ( $R^2 = 99,75 \%$ ) et une capacité d'adsorption maximale de 33.33 mg/g.

**Mots clés :** Adsorption, Charbon actif, Bleu de Méthylène.

---

---

**Abstract :**

This study focuses on optimizing the selected operating conditions for the removal of Methylene Blue (MB) dye using powdered activated carbon (PAC). The evaluation of influential factors and their interactions involved the use of adsorption isotherms. This approach was carried out within the study domain of various chosen predictors such as the adsorbent dose and contact time. The modeling of the studied process demonstrated the statistical adequacy of the experimental data with the theoretical results derived from the proposed model ( $R^2 = 99.75\%$ ) and a maximum adsorption capacity of 33.33 mg/g.

**Keywords:** Adsorption, Activated carbon, Methylene Blue.

---

---

## ملخص

تركز هذه الدراسة على تحسين ظروف التشغيل المختارة لإزالة صبغة الأزرق الميثيلين باستخدام مسحوق الفحم النشط.

شملت تقييم العوامل المؤثرة وتفاعلاتها استخدام إيزوثرمات الامتزاز. وقد تم تنفيذ هذا النهج ضمن مجال دراسة المتغيرات المختارة مثل جرعة المادة الممتزة ووقت التلامس.

أثبتت نمذجة العملية المدروسة ملاءمة البيانات التجريبية للنتائج النظرية المستخلصة من النموذج المفترض ( $R^2 = 99.75\%$ )

وقدرة امتصاص قصوى تبلغ 33.33 ملغم/غرام.

**الكلمات المفتاحية :** الامتزاز، الفحم النشط، أزرق الميثيلين.

---

## Sommaire

### Liste des figures

### Liste des tableaux

### Liste des abréviations

<i>Introduction générale</i> .....	1
Références bibliographiques.....	3
<b>CHAPITRE I: Généralité sur l'adsorption et les adsorbants</b> .....	4
<b>I.1. Définition</b> .....	5
<b>I.2. Type d'adsorption</b> .....	5
1.2.1. Adsorption physique ( Physisorption ).....	6
1.2.2. Adsorption chimique ( Chimisorption ).....	6
<b>I.3. Mécanisme d'adsorption</b> .....	7
<b>I.4. Facteurs influençant l'adsorption</b> .....	8
I.4.1. La surface spécifique .....	8
I.4.2. Le pH .....	8
I.4.3. La concentration.....	8
I.4.4. La vitesse d'adsorption.....	8
I.4.5. La nature de l'adsorbant .....	8
I.4.6. La nature de l'adsorbat.....	9

---

---

I.4.7. La temperature .....	9
<b>1.5. Adsorbants .....</b>	<b>9</b>
I.5.1. Généralités .....	9
I.5.2. Les adsorbants les plus utilisés dans le traitement des eaux .....	10
I.5.2.1. Les charbons actifs.....	10
I.5.2.2. Les argiles activées .....	10
I.5.2.3. Les gels de silice .....	10
I.5.2.4. Les alumines .....	10
I.5.2.5. Les zéolites.....	10
I.5.3. Charbon actif.....	10
<b>I.5.4. Origine des charbons actifs.....</b>	<b>11</b>
I.5.4.1. Origine végétale .....	11
I.5.4.2. Origine animale.....	11
I.5.4.3. Origine minérale .....	11
<b>I.5.5. Classification de charbon actif .....</b>	<b>11</b>
I.5.5.1. Charbon actif en poudre (CAP) .....	12
I.5.5.2. Charbon actif en grain (CAG).....	12
I.5.5.3. Charbon actif en extrudé.....	13
<b>I.6. Isothermes d'adsorption.....</b>	<b>14</b>
I.6.1. Capacité d'adsorption.....	14
I.6.2. Classification des isothermes d'adsorption .....	15

---

---

I.6.3. Modélisation des isothermes d'adsorption.....	16
I.6.3.1. Modèle de Langmuir.....	16
I.6.3.2. Modèle de Freundlich.....	17
<b>I.7. Modèles cinétiques d'adsorption.....</b>	<b>17</b>
I.7.1 Modèle de pseudo premier ordre.....	18
I.7.2. Modèle de pseudo deuxième ordre.....	18
<b>Références bibliographiques.....</b>	<b>20</b>
<b><i>CHAPITRE II: Généralité sur les colorants chimiques.....</i></b>	<b>23</b>
<b>II.1. Définition.....</b>	<b>24</b>
<b>II.2. Nature des colorants.....</b>	<b>24</b>
<b>II.3. Les types des colorants.....</b>	<b>24</b>
II.3.1 Les colorants naturels.....	24
II.3.2 Les colorants synthétiques.....	25
<b>II.4. Classification des colorants.....</b>	<b>25</b>
II.4.1. Classification chimique.....	25
II.4.1.1. Les colorants azoïques.....	25
II.4.1.2. Les colorants triphénylméthanes.....	26
II.4.1.3. Les colorants anthraquinoniques.....	27
II.4.1.4. Les colorants indigoïdes.....	27
II.4.1.5. Les colorants nitrés et nitrosés.....	28
II.4.1.6. Phtalocyanines.....	28

---

---

II.4.2. Classification tinctoriale.....	29
II.4.2.1. Les colorants solubles dans l'eau.....	29
II.4.2.2. Les colorants insolubles dans l'eau.....	30
<b>II.5. Utilisations des colorants industriels.....</b>	<b>31</b>
<b>II.6. Risques des colorants.....</b>	<b>31</b>
II.6.1. Danger sur l'environnement.....	31
II.6.2. Danger sur l'être humaine.....	31
<b>Références bibliographiques.....</b>	<b>33</b>
<b>Chapitre III : Partie expérimentale.....</b>	<b>35</b>
<b>III.1. Matériels et appareillages.....</b>	<b>36</b>
III.1.1. Matériels utilisés.....	36
<b>III.1.2. Appareillages.....</b>	<b>39</b>
<b>III.2. Produits utilisés.....</b>	<b>41</b>
III.2.1. Le chlorure de méthylthioninium.....	41
III.2.2. Préparation des solutions de Chlorure de Methylthioninium.....	41
III.2.3. Etablissement de la courbe d'étalonnage.....	42
<b>III.3. Optimisation des paramètres d'adsorption.....</b>	<b>43</b>
III.3.1. Effet du temps de contact sur l'adsorption de chlorure de methylthioninium.....	43
III.3.2. Effet de la dose de l'adsorbant.....	45
III.3.3. Isothermes d'adsorption.....	46
<b>III.4. Modélisations.....</b>	<b>48</b>
<b>Références bibliographiques.....</b>	<b>51</b>
<b>Conclusion Générale.....</b>	<b>53</b>

---

---

## Liste des figures

### Chapitre I

N° Figure	Titre	Page
1	Représentation schématique des phénomènes d'adsorption dans une structure poreuse.	7
2	Charbon actif en poudre ( <i>CAP</i> ).	12
3	Charbon actif en grain ( <i>CAG</i> ).	13
4	Charbon actif en extrudé	13
5	Allures des isothermes d'adsorption selon Giles.	16

### Chapitre II

N° Figure	Titre	Page
1	Structure des colorants azoïques.	25
2	Structure chimique des colorants triphénylméthanes.	26
3	Structure chimique des colorants anthraquinoniques.	27
4	Structure chimique des colorants indigoïdes.	27
5	Structure chimique des colorants nitrés.	28
6	Structure chimique des colorants Phtalocyanines.	28

### Chapitre III

N° Figure	Titre	Page
1	Chlorure de méthyl thioninium.	35
2	Charbon actif en poudre ( <i>CAP</i> ).	35
3	Becher	36
4	Erlenmeyers	36
5	Eprouvette gradué	36

---

---

6	Fioles jaugées	36
7	Pipette et pro pipette	36
8	Spatule	36
9	Entonnoir	37
10	Verre de montre	37
11	Pissette pour l'eau distillée	37
12	Tubes à essais	37
13	Barreau magnétique	37
14	Agitateur magnétique	37
15	pH-mètre	38
16	Balance analytique	38
17	Etuve	38
18	Centrifugeuse	38
19	Dessiccateur en verre	38
20	Burette graduée	38
21	Un spectrophotomètre UV visible (Chimadzu UV-mini1240).	40
22	Dosage d'une espèce chimique en solution.	40
23	Structure chimique du colorant Chlorure de Methylthioninium	41
24	la courbe d'étalonnage de bleu de méthylène.	43
25	Evolution du taux d'élimination en fonction du temps.	44
26	Evolution de taux d'élimination en fonction de la dose.	46
27	Isotherme d'adsorption.	48
28	Application du modèle de Langmuir pour l'adsorption.	49
29	Application du modèle de Freundlich pour l'adsorption.	49

---

---

## Liste des tableaux

### Chapitre I

<b>N° Tableau</b>	<b>Titre</b>	<b>Page</b>
<b>1</b>	Comparaison des phénomènes de physisorption et de chimisorption.	<b>6</b>

### Chapitre III

<b>N° Tableau</b>	<b>Titre</b>	<b>Page</b>
<b>1</b>	la courbe d'étalonnage de bleu de méthylène.	<b>41</b>
<b>2</b>	Étude de temps d'équilibre de l'adsorption de chlorure de methylthioninium.	<b>44</b>
<b>3</b>	Effet de la dose sur l'adsorption.	<b>45</b>
<b>4</b>	Résultats obtenues d'isotherme d'adsorption.	<b>47</b>
<b>5</b>	les principaux paramètres de chaque modèle.	<b>50</b>

---

---

## Liste des abréviations

**MB** : bleu de méthylène

**CAP** : Charbon actif en poudre.

**CAG** : Charbon actif en grain.

**Q<sub>e</sub>** : la variation de la quantité.

**C<sub>e</sub>** : la concentration à l'équilibre.

**C<sub>0</sub>** : concentration initiale du substrat.

**K<sub>L</sub>** : constante correspond à l'énergie d'adsorption.

**b** : capacité maximale d'adsorption.

**K<sub>F</sub>** : la constante de Freundlich.

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

**k<sub>2</sub>** : la constante de vitesse pour une cinétique de pseudo deuxième ordre.

**R<sup>2</sup>** : coefficient de corrélation.

---

# *Introduction Générale*

L'eau est l'élément vital de notre planète. Ils maintiennent les écosystèmes, soutiennent la production alimentaire et sont essentiels aux systèmes humains et naturels . Cependant, diverses activités humaines – industrielles, urbaines et agricoles – contribuent à sa pollution.

Parmi les polluants les plus préoccupants figurent les teintures synthétiques utilisées dans l'industrie textile, souvent rejetées directement dans les milieux aquatiques sans aucun traitement préalable [1].

On estime que 5 à 25 % des colorants appliqués sur les tissus ne sont pas fixés et se retrouvent dans les eaux usées [2].

Les rejets des industries textile, pharmaceutique et d'impression contiennent des substances hautement toxiques, constituant une menace sérieuse pour la santé humaine et l'environnement.

Parmi ces colorants, le chlorure de méthyl thionium (bleu de méthylène, MB) représente une préoccupation majeure en raison de sa toxicité, de sa persistance dans l'environnement et de ses effets néfastes sur les écosystèmes aquatiques.

Son rejet incontrôlé dans les eaux nécessite donc des méthodes de traitement efficaces. Dans ce contexte, l'adsorption s'est imposée comme une technique prometteuse, combinant rentabilité, efficacité élevée et simplicité d'utilisation [3].

Avant tout rejet dans les réseaux d'assainissement, il est essentiel de traiter ces effluents pollués. Plusieurs méthodes physico-chimiques et biologiques existent pour la décoloration des eaux contaminées, notamment :

La coagulation-floculation, La biodégradation, La filtration membranaire, L'oxydation chimique et l'ozonation, L'échange d'ions, Les procédés électrochimiques, L'adsorption .

Parmi ces techniques, l'adsorption se distingue comme l'une des plus efficaces et des plus simples à mettre en œuvre pour l'élimination des colorants [4].

Son principe repose sur la fixation des molécules de colorant à la surface d'un matériau solide appelé adsorbant. La littérature scientifique recense une grande variété d'adsorbants potentiels, tels que :

Les argiles naturelles, les zéolites, les alumines activées, les résidus agricoles (biomasse, coques, etc.), le charbon actif.

Ces matériaux, souvent peu coûteux et abondants, offrent une solution durable pour le traitement des eaux contaminées par les colorants synthétiques.

**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 Essaâdi, 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] 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).

---

*Chapitre I*

**Généralités sur l'adsorption et  
les adsorbants**

---

## **I.1. Introduction**

La séparation par adsorption représente l'une des techniques de séparation les plus essentielles, notamment parmi celles qui ne reposent pas sur l'équilibre vapeur-liquide. Elle est largement employée pour séparer et purifier des gaz ou des liquides dans de nombreux secteurs, tels que les industries pétrolière, pétrochimique, chimique, ainsi que dans les domaines de l'environnement et de la pharmacie [5].

Le mot adsorption a été introduit pour la première fois par Kayser en 1881, afin de distinguer la condensation de gaz à la surface d'un solide de l'adsorption, où les molécules de gaz s'accumulent à la surface plutôt que de pénétrer dans le volume du matériau [6].

L'adsorption est un phénomène de surface qui est observé lorsque les atomes, les ions ou les molécules d'un adsorbat entre contact avec une phase solide poreuse (adsorbant). Ensemble, ils sont qualifiés comme une paire et leurs capacités dépendent des caractéristiques de chaque membre et du milieu dans lequel la paire se retrouve. Les interactions entre les deux éléments provoquent une « fixation » des molécules sur la surface du solide et l'apparition d'une phase plus dense dénommée phase adsorbée. Le processus inverse se nomme la désorption et consiste en un apport en chaleur à l'adsorbant chargé d'adsorbat pour le libérer de celui-ci. La quantité de chaleur nécessaire à la désorption dépend de la paire sélectionnée, des points d'opérations et du temps nécessaire.

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

On distingue ainsi, deux types d'adsorption suivant la nature des liaisons entre le substrat adsorbé et le solide : la physisorption (adsorption non spécifique), où les forces entre les molécules adsorbées et le solide sont du type de Van der Waals (forces électrostatiques) ; et la chimisorption (adsorption spécifique), au cours de laquelle les molécules adsorbées et le solide établissent des liaisons covalentes ou ioniques pour créer une nouvelle espèce chimique en surface.

### **I.2. 1. Adsorption physique (Physisorption)**

L'adsorption physique, ou physisorption est caractérisée par les liaisons de Van der Waals, la porosité et la taille des différents pores qui réalisent la sorption. En effet, la taille et la structure des pores jouent un rôle important sur la capacité d'adsorption, la diffusion du fluide (transfert de masse), la conduction thermique et autres propriétés de l'adsorbant.

## 1.2. 2. Adsorption chimique (Chimisorption )

L'adsorption chimique se démarque par les réactions de transfert d'électrons, de réarrangement d'atomes et celles de bris ou de création de liens chimiques se produisant lors de celle-ci. Le processus de réaction chimique fait que la sorption chimique ne dépend pas ou peu de la pression, mais principalement de la température. L'avantage des adsorbants chimiques ce qu'ils s'atteignent des capacités d'adsorption maximale plus grandes que pour l'adsorption physique. Dans le cas de la formation d'une liaison chimique spécifique, on peut envisager différents types de liaisons : soit une liaison purement ionique dans laquelle l'atome ou l'ion joue le rôle de donneur ou d'accepteur d'électrons ; soit une liaison covalente.

**Tableau I.1 :** Comparaison des phénomènes de physisorption et de chimisorption.

<b>Adsorption physique</b>	<b>Adsorption chimique</b>
Chaleur d'adsorption basse (entre le tiers moitié de la chaleur latente de vaporisation)	Chaleur d'adsorption élevée (supérieure à 2 ou 3 fois la chaleur latente de vaporisation)
Faiblement spécifique	Hautement spécifique
Monocouche ou multicouche. Pas de dissociation des espèces adsorbées. Significative seulement à relativement basse température.	Uniquement monocouche. Peut entraîner une dissociation. Possible sur une large gamme de températures.
Rapide, non activée, réversible. Pas de transfert d'électrons bien qu'une polarisation de l'adsorbant soit possible.	Activée, peut être lente et irréversible. Transfert d'électrons conduisant à la formation de liaisons entre l'adsorbant et la surface.

## I.3. Mécanisme d'adsorption

Les mécanismes mis en jeu dans ce processus peuvent être détaillés de la manière suivante:

- a-** Transport et transfert de diffusion externe de la molécule de la phase gazeuse vers la surface du solide ;
- b-** Accumulation dans la couche limite sur la surface externe du matériau.

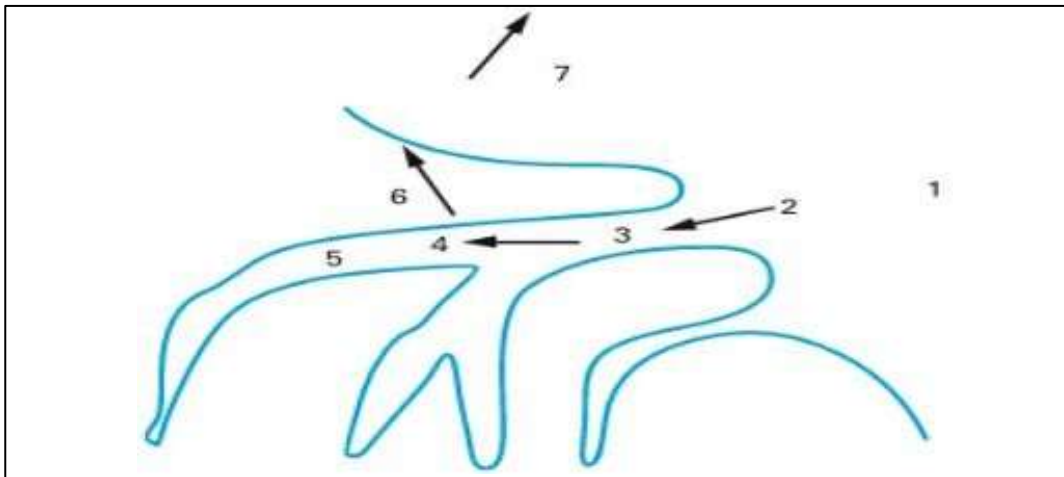
c- Diffusion du composé dans le volume poreux de l'adsorbant. Le coefficient de diffusion est inférieur à la diffusivité dans le fluide.

d- Adsorption en surface. Cette réaction est exothermique et provoque donc un dégagement de chaleur. On rencontre soit une interaction de faible énergie (liaison de type Van der Waals) appelée « physisorption », soit une liaison de type covalente (chimisorption).

e- Diffusion lente en surface des pores dans le cas de longs temps de cycles d'adsorption.

f- Conduction thermique au travers de la structure du solide du fait de la libération de chaleur lors de la réaction exothermique d'adsorption.

g- Convection thermique du solide vers la phase gazeuse évacuation de la chaleur générée.



**Figure I.1 :** Représentation schématique des phénomènes d'adsorption dans une structure poreuse. [5]

## I.4. Facteurs influençant l'adsorption

De nombreux facteurs peuvent influencer sur le phénomène de l'adsorption des liquides par les solides on peut citer [7] :

### I.4.1. 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.4.2. 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.4.3. Concentration**

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

### **I.4.4. 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.4.5. 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.4.6. 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.4.7. Temperature**

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.

## **1.5. Adsorbants**

### **I.5.1. Généralités**

Les adsorbants utilisés dans l'industrie ont généralement des surfaces spécifiques (surface par unité de masse) supérieures à 200 m<sup>2</sup>/g. Ces adsorbants sont nécessairement microporeux avec des tailles de pores inférieures à 2 nm ou mésoporeux avec des tailles de pores comprises entre 2 et 50 nm. Les adsorbants les plus utilisés dans l'industrie sont: les charbons actifs (500 à 3000 m<sup>2</sup>/g ,une grande variété de taille de pore (micro,méso,macropores)), les zéolithes (300 à 1000 m<sup>2</sup>/g, 0.3 nm < d < 1nm), les gels de silice (600 à 800 m<sup>2</sup>/g , 2nm < d < 50nm ) et les alumines actives (200 à 400 m<sup>2</sup>/g , la taille des pores moyenne à grande).

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) [8].

Ils sont employés tels quels ou après un traitement d'activation ayant pour but l'augmenter la porosité [9].

### **I.5.2. Les adsorbants les plus utilisés dans le traitement des eaux**

#### **➤ 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 [7].

**➤ Argiles activées:**

Les argiles sont des aluminosilicates, ce sont des produits naturels qui sont activées pour avoir de meilleures propriétés adsorbants [7].

**➤ 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 [7].

**I.5.2.4. Alumines:**

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  $300 \text{ m}^2/\text{g}$  [7].

**I.5.2.5. Zéolites:**

Sont des adsorbants de squelette cristallin aluminosilicate tridimensionnel de formule  $(\text{AlO}_2\text{M}, n\text{SiO}_2)$ . Ils sont sous forme de poudre, granulés ou extrudés [7].

**I.5.3. 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 [10].

**I.5.4. Origine des charbons actifs**

La fabrication du charbon actif passe nécessairement par l'indentification 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 [11].

### **I.5.4.1. 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 [12].

### **I.5.4.2. 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.5.4.3. 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.5.5. 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 [13].

### **I.5.5.1. 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 [13].



Figure I.2 : Charbon actif en poudre (*CAP*). [13]

### **I.5.5.2. 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 [14].



**Figure I.3 :** Charbon actif en grain (CAG). [14]

### **I.5.5.3. 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 [15].



**Figure I.3 :** Charbon actif en extrudé. [15]

## I.6. 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 [16].

### I.6.1. 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.) [17].

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.6.2. Classification des isothermes d'adsorption**

Tous les systèmes adsorbant-adsorbat 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) [18].

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 [19]

➤ **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. [19]

➤ **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 [19].

➤ **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 [19].

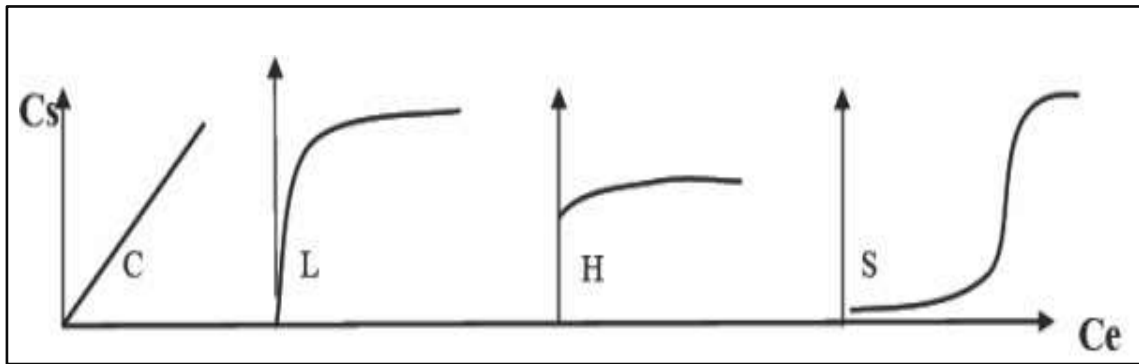


Figure I.5: Allures des isothermes d'adsorption selon Giles. [20]

### I.6.3. 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 et Freundlich.

#### I.6.3.1. Modèle de Langmuir

Le model 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 [21].

L’isotherme est représentée par l’équation suivante :

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

Où :

Ce : concentration à l’équilibre de l’adsorbat (mg/L).

qe : quantité de substance adsorbée par unité de masse de l’adsorption (mg/g).

KL : constante correspond à l’énergie d’adsorption.

b : capacité maximale d’adsorption.

### I.6.3.2. 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 [22]. 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. [7]

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

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

## I.7. 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 [23], parmi ces modèles, on retient :

**I.7.1 Modèle de pseudo premier ordre**

LANGRANGE (1889) a proposé un modèle cinétique du pseudo première ordre exprimée par la relation suivant [24] :

$$\frac{dq_t}{dt} = k_1 \times (q_e - q_t) \dots \dots \dots (I. 5)$$

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 (5) donne :

$$(q_e - q_t) = ( ) - ( 1 \times t / 2,303 ) \dots \dots \dots (I. 6)$$

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  $\log (q_e)$ .

**I.7.2. 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 [25].

$$dq_t / dt = k_2 \times (q_e - )^2 \dots \dots \dots (I. 7)$$

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 (7) donne :

$$t / q_t = (1 / k_1 ) \times q_e^2 + ( t / q_e ) \dots \dots \dots (I. 8)$$

**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 Essaâdi, 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 2éme conférence Maghrébine de génie des procédés, (1998) 555-558.
- [4] 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).
- [5] L.M. Sun, F. Meunier, N. BRODU, Marie-Hélène, Adsorption-Aspects théoriques. Techniques de l'ingénieur, J 2730-(2020).
- [6] 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).
- [7] Gharbi Hanane kheira, Guentrah Khadidja, Isothermes d'adsorption d'un polluant de l'industrie textile, Mémoire de Master, Génie chimique université de Mostaganem (2021).
- [8] Belkebir. Z, Valorisation des déchets agro-alimentaires cas des grignons d'olives, Mémoire de Magister, Université de Boumerdes, (2007)
- [9] E. KOLLER, Génie chimique, Edition Dunon, (2001)
- [10] Khezzane. A, Dépollution par charbon actif d'une eau contaminée par le Rouge Congo, Mémoire de master Université Echahid Hamma Lakhdar. El Oued (2017).
- [11] Mbaye Gueye, Synthèse et étude des charbons actifs pour le traitement des eaux usées d'une tannerie. Ouagadougou, Burkina Faso (2008).

[12] 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.

[13] Zitouni. F, Benchara. 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)

[14] Z. Mekibes, Fixation de polluants émergents par des supports lignocellulosiques, Thèse de doctorat, Université de Mostaganem, Algérie, (2021).

[15] 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).

[16] 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).

[17] 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).

[18] DEBBAZ. A, Préparation et caractérisation d'un charbon actif à partir d'un déchet agricole. Mémoire de master, Université Kasdi Merbah Ouargla, (2016).

[19] 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).

[20] 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).

[21] Naima Gherbi, Etude expérimentale et identification du processus de rétention des cations métalliques par des matériaux naturels, Thèse du doctorat, (2008).

[22] N. Bougdah, « Etude de l'adsorption de micropolluants organiques sur le Bentonite » (2007).

[23] Hammou.D, Elimination d'un polluant par deux charbons actifs Préparé à partir d'un déchet végétal, Mémoire master Université Abdelhamid ibn badis (2022).

[24] Louis Robert, opération unitaire « adsorption » technique de l'ingénieur, J.2730 a-9, (2000).

[25] Cassanph, Baglin A, Frit D., Les hyperoxaluries Revue de médecine (Cinetique bendada) ;17 ; 803-808 (1976).

---

# **Chapitre II**

## **Généralités sur les colorants chimiques**

---

## II.1. Introduction

Un colorant est une substance chimique colorée capable de transmettre sa couleur à d'autres corps. C'est un composé organique insaturé et aromatique, qui peut être naturel ou synthétique. Il se distingue par sa capacité à absorber la lumière à certaines longueurs d'onde et à en réfléchir d'autres [1]. Le colorant possède des groupes responsables de la couleur appelés **chromophores** et des groupes qui permettent la fixation appelés **auxochromes**. En général, les produits utilisés comme colorants sont des composés organiques insaturés et aromatiques [2].

## II.2. Nature des colorants

Après de nombreuses études, il a été découvert que les colorants se caractérisent par leur capacité à absorber les radiations lumineuses dans le spectre visible (de 400 à 700 nanomètres). La couleur est étroitement liée à la structure et à la composition des molécules du colorant.

Le chimiste Witt a observé en 1878 que les colorants contiennent dans leurs molécules des groupes appelés chromophores, qui comportent des liaisons insaturées. Selon Witt, une molécule contenant ces groupes devient un colorant.

À son avis, ces groupes sont responsables de la couleur, mais pour renforcer l'intensité de la couleur et donner au produit des propriétés de teinture, il est nécessaire que la molécule colorante contienne également d'autres groupes appelés **auxochromes**, qui augmentent la densité colorante et les propriétés tinctoriales.

## II.3. Types des colorants

### II.3.1 Colorants naturels

Les colorants naturels sont des colorants d'origine végétale, extraits de plantes et d'arbres, ou d'origine animale, extraits d'insectes ou même de micro-organismes, par procédés simples comme le chauffage ou le broyage [3]. Comme le pourpre obtenu à partir de mollusques.

- La couleur bleue est obtenue à partir de l'indigo, une plante légumineuse.
- La couleur jaune orangé est extraite du curcuma.
- La couleur jaune est obtenue à partir du safran.

### II.3.2 Colorants synthétiques

Ce sont des colorants dérivés de sources non naturelles, telles que le pétrole [4], le charbon ou les minéraux. Ils sont classés selon leur structure chimique. Ils sont de plus en plus utilisés dans l'industrie de coloration et des textiles grâce à leurs couleurs comparées aux colorants naturels [5].

## II.4. Classification des colorants

### II.4.1. Classification chimique

Cette classification repose sur la structure chimique des colorants, en particulier sur la nature du groupe chromophore, qui est le groupe fonctionnel responsable de la couleur du colorant.

#### II.4.1.1. Colorants azoïques

Les colorants azoïques sont des colorants organiques contenant un groupe fonctionnel azoïque (-N=N-). Ce groupe est lié à deux noyaux aromatiques, généralement des cycles benzéniques. Les colorants azoïques sont les plus répandus parmi les types de colorants, représentant plus de 50 % de la production mondiale de substances colorantes. Ils se distinguent par une grande variété de couleurs, une bonne stabilité et une facilité d'application.

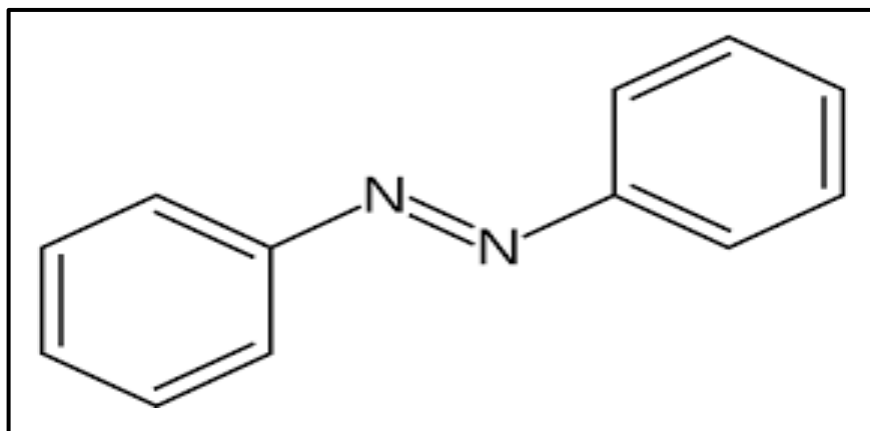


Figure II.4.1.1. Structure des colorants azoïques.

### II.4.1.2. Colorants triphénylméthanés

Les colorants triphénylméthanés sont des colorants organiques dérivés du triphénylméthane, un hydrocarbure composé de trois cycles benzéniques liés à un atome de carbone central. Cette structure de base se retrouve dans un grand nombre de composés organiques colorés.

Les colorants triphénylméthanés et leurs dérivés hétérocycliques représentent l'une des plus anciennes classes de colorants synthétiques. Bien qu'ils soient aujourd'hui moins importants que les colorants azoïques et anthraquinoniques, ils conservent une certaine valeur commerciale, car ils permettent de couvrir l'ensemble du spectre des couleurs.

Les colorants triphénylméthanés sont largement utilisés dans l'industrie du papier et du textile pour teindre le nylon, la laine, la soie et le coton. Leur usage ne se limite pas à l'industrie : ils sont également utilisés en médecine et comme agents antifongiques dans l'élevage de poissons et de volailles.

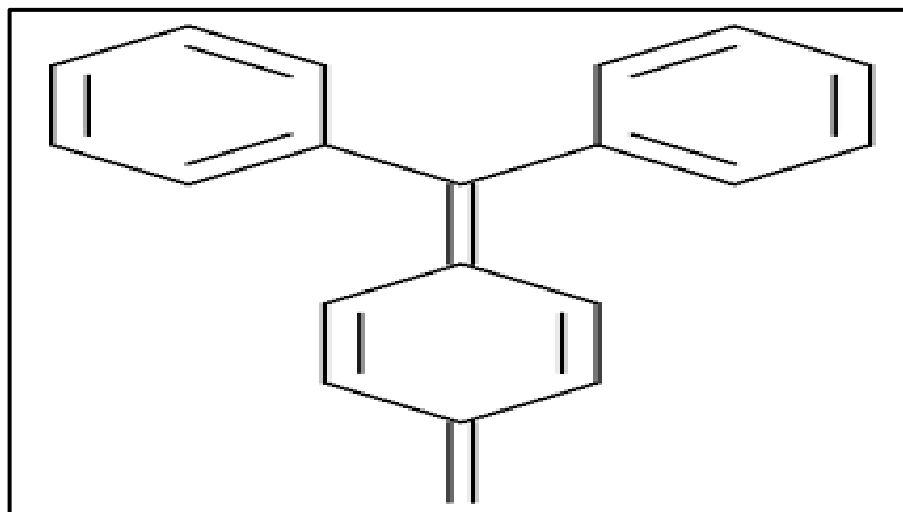


Figure II.4.1.2. Structure chimique des colorants triphénylméthanés.

### II.4.1.3. Colorants anthraquinoniques

Les colorants anthraquinoniques représentent la deuxième classe la plus importante de colorants synthétiques après les colorants azoïques. Ces colorants se distinguent par une grande variété de teintes, une excellente solidité (stabilité) et une bonne solubilité dans l'eau. Ils sont constitués de deux cycles aromatiques reliés à un groupe carbonyle. Leurs structures générales, dérivées de l'anthracène, montrent que le chromophore est un noyau **quinonoïde** pouvant se lier à des **groupes hydroxyle** ou **amine**.

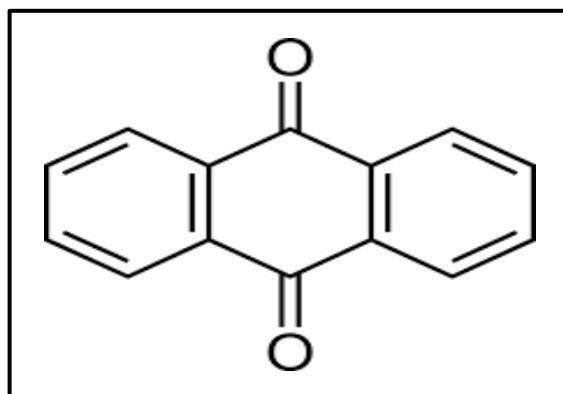


Figure II.4.1.3. Structure chimique des colorants anthraquinoniques.

### II.4.1.4. Colorants indigoïdes

Les colorants indigoïdes forment une catégorie de colorants dérivés de l'indigo, un colorant naturel de couleur bleue. Ces colorants peuvent être utilisés comme additifs dans les produits pharmaceutiques et médicaux.

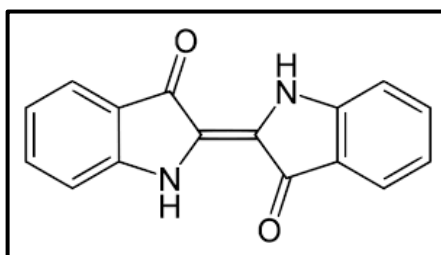


Figure II.4.1.4. Structure chimique des colorants indigoïdes.

### II.4.1.5. Colorants nitrés et nitrosés

Les colorants nitrés et nitrosés constituent une catégorie limitée et relativement ancienne de colorants. Ils sont encore utilisés aujourd'hui en raison de leur très faible coût. Leur structure moléculaire se caractérise par la présence d'un groupe nitro ( $-NO_2$ ) en position ortho par rapport à un groupe donneur d'électrons (comme un groupe hydroxyle ou un groupe amine).

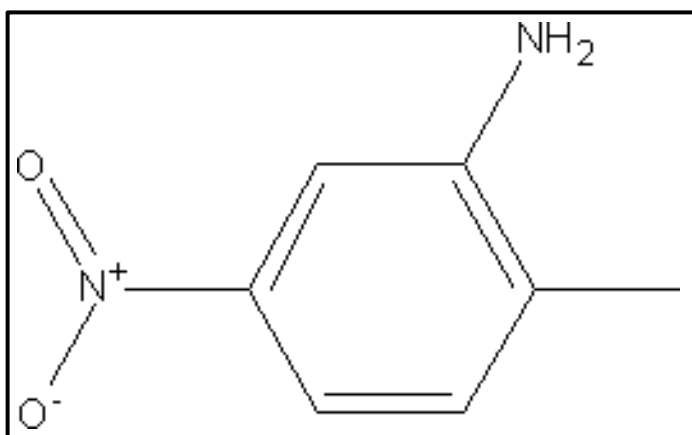


Figure II.4.1.5. Structure chimique des colorants nitrés.

### II.4.1.6. Phtalocyanines

Les phtalocyanines sont des composés organiques ayant une structure complexe contenant un atome métallique central. Les pigments de ce groupe sont obtenus par la réaction du benzodicyane en présence d'un halogénure métallique (Cu, Ni, Co, Pt, etc.).

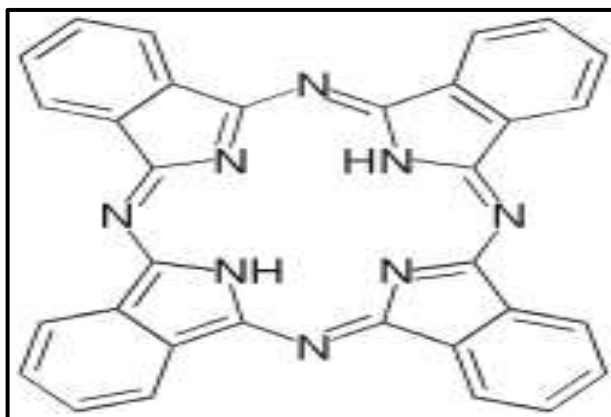


Figure II.4.1.6. Structure chimique des colorants Phtalocyanines.

## **II.4.2. Classification tinctoriale**

Également connue sous le nom de classification traditionnelle des colorants. Cette classification est utilisée pour décrire la méthode d'application du colorant et ses propriétés, et elle se compose de :

### **II.4.2.1. Colorants solubles dans l'eau**

Ce sont des colorants qui ont la capacité de se dissoudre dans l'eau. Ils sont généralement utilisés pour la teinture et l'impression des fibres textiles. Ils comprennent :

- **Colorants basiques (cationiques)**

Les colorants basiques sont souvent des sels d'amines organiques (chlorures, nitrates, oxalates, sulfates, etc.), ce qui leur confère une bonne solubilité dans l'eau [6] .

- **Colorants acides (anioniques)**

Les colorants acides sont un type de colorant contenant un groupe fonctionnel acide dans leur molécule. L'affinité colorant fibre est le résultat de liaisons ioniques entre la partie acide sulfonique du colorant et les groupes amino des fibres textiles [7]. Ce groupe acide permet au colorant de se lier aux fibres à charge basique. Ils sont couramment utilisés pour la teinture des fibres animales comme la laine et la soie.

- **Colorants directs**

Ce sont des colorants qui contiennent généralement des groupes acides sulfoniques ou hydroxyles qui se ionisent dans une solution aqueuse. Ils teignent les fibres cellulosiques, notamment le coton, dans un bain neutre ou alcalin, en présence de sels neutres (chlorure ou sulfate de sodium). Ces colorants se lient aux fibres cellulosiques par des forces de Van der Waals et des liaisons hydrogène. Les colorants directs portent des groupes fonctionnels à charge négative, tandis que les fibres cellulosiques possèdent des groupes à charge positive, ce qui crée une forte liaison chimique.

### **II.4.2.2. 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. [8]

- **Colorants métalliques**

Ce sont des colorants composés d'un atome métallique lié à une ou deux molécules de colorant acide. Ce complexe forme une liaison covalente avec les fibres protéiques et le polyamide. Le métal est généralement le chrome, mais il peut aussi s'agir de cuivre, nickel ou cobalt.

- **Colorants sulfurés**

Ce sont des colorants insolubles dans l'eau, composés de composés soufrés qui forment souvent des chaînes (Ar-S-S-Ar' ou Ar-S-S-S-Ar'). Ils peuvent facilement s'oxyder en sulfates. Leur structure chimique est très complexe et souvent mal connue. Ils sont préparés en chauffant diverses molécules organiques avec du soufre ou des polysulfures alcalins. Peu coûteux, ces colorants sont appliqués sur les fibres cellulosiques dans un milieu alcalin en présence d'agents réducteurs.

- **Colorants oxydés**

Les colorants basiques oxydés sont des amines aromatiques oxydées sur les fibres pour produire des composés intensément colorés. Aujourd'hui, un seul type reste couramment utilisé : le noir d'aniline. La teinture est obtenue en trempant le tissu dans une solution contenant de l'aniline, un acide minéral et un agent oxydant fort (comme le chlorite ou le bichromate de sodium). L'ajout de sels de cuivre, de chrome ou de vanadium améliore la stabilité de la teinture. Le noir d'aniline est utilisé pour teindre les plumes, les cheveux et les fourrures.

- **Colorants chromogènes**

De nombreux colorants azoïques appartiennent à cette catégorie. Ils sont insolubles dans l'eau, mais peuvent être rendus dispersibles dans l'eau avec des substances adaptées. Ils se dissolvent dans les fibres synthétiques, dans l'acétate de tri-cellulose et l'acétate, fibres caractérisées par leur nature non polaire et leurs groupes fonctionnels non hydrolysables. Ces colorants ont un rythme de teinture lent, nécessitant des températures et parfois des pressions élevées.

## **II.5. Utilisations des colorants industriels**

Les colorants industriels font partie intégrante de notre quotidien et représentent un marché économique important. Ils sont utilisés dans divers secteurs et applications, notamment :

- Teinture et impression de toutes sortes de fibres et textiles.
- Teinture du cuir et des fourrures.
- Teinture du caoutchouc, du papier et de divers plastiques.
- Utilisation dans la fabrication de produits cosmétiques.
- Préparation de divers types de peintures dans le domaine du bâtiment.
- Fabrication d'encres et de couleurs pour toutes les techniques de dessin.
- Utilisation dans l'industrie alimentaire (coloration des denrées alimentaires).
- Utilisation dans le domaine médical (amélioration de l'apparence des produits médicaux) et dans l'industrie pharmaceutique.

## **II.6. Risques des colorants**

Actuellement de nombreuses stations d'épuration des industries textiles rejettent des quantités importantes d'eau et de boues colorées dans la nature

### **II.6.1. Danger sur l'environnement**

- Pollution de l'eau et détérioration de sa qualité.
- Provoquent le phénomène d'eutrophisation (enrichissement du milieu en nutriments, entraînant une prolifération de plantes, d'algues et de bactéries toxiques).

- Mort de la faune aquatique (due à la dégradation des matières organiques et la consommation excessive d'oxygène).
- Dégradation esthétique des paysages naturels.

### **II.6.2. Danger sur l'être humaine**

- Mutations (altérations de l'ADN pouvant provoquer le cancer ou d'autres maladies).
- Cancers (en raison de la présence de substances cancérigènes, l'un des effets les plus dangereux).
- Effets sur le système nerveux central (irritation du cerveau et de la moelle épinière).
- Inhibition ou réduction de certaines enzymes (ce qui peut entraîner l'accumulation de substances toxiques dans l'organisme).
- Augmentation de la perméabilité intestinale (facilitant le passage de substances nocives dans la circulation sanguine).

## Références bibliographiques

- [1] J.A. Moore, Chimie organique moderne, travaux pratiques, MASSON, (1975).
- [2] K. Mehdjoubi, M. Belmimouni, « Essais d'élimination d'un colorant basique en solution aqueuse synthétique par certains matériaux déchets traités », Université de Tlemcen, (2010).
- [3] 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).
- [4] M. Dore. Chimie des oxydants et traitement des eaux. Edition Paris (1989).
- [5] G. Simon. Guide des techniques de l'ennoblissement textile. Chapitre 11, édition industrie textile (1982).
- [6] 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)
- [7] N. MAMERI « Traitement des effluents textiles et de l'eau de mer par Electrocoagulation » mémoire de Magister, Université de Boumerdes, (2013).
- [8] Y.S.Ho ,G.McKay, Pseudo-second order model for sorption processes, Process Biochem.34, 451-465 (1999).
-

# **Chapitre III : Partie expérimentale**

### *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 **Chlorure de méthyl thioninium** ou bleu de méthylène (**BM**) sur un charbon actif en poudre (**CAP**), 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 et la masse de charbon**. Après, nous avons faire une modélisation des résultats obtenus ; Enfin, nous avons étudié les isothermes d'adsorption.



**Figure III.1** : Chlorure de méthyl thioninium.



**Figure III.2** : Charbon actif en poudre (CAP).

### III.1. Matériels et appareillages

#### III.1.1. Matériels utilisés



Figure III.3 : Becher



Figure III.4 : Erlenmeyers



Figure III.5 : Eprouvette gradué



Figure III.6 : Fioles jaugées



Figure III.7 : Pipette et pro pipette



Figure III.8: Spatule



Figure III.9 : Entonnoir



Figure III.10 : Verre de montre



Figure III.11 : Pissette pour l'eau distillée



Figure III.12 : Tubes à essais



Figure III.13 : Barreau magnétique



Figure III.14 : Agitateur magnétique



Figure III.15 : pH-mètre



Figure III.16 : Balance analytique



Figure III.17 : Etuve



Figure III.18 : Centrifugeuse



Figure III.19 : Dessiccateur en verre



Figure III.20 : Burette graduée

### 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** :

$$A = \log(I_0/I) = \log(1/T) = \varepsilon \times l \times C \dots\dots\dots \text{(III.2)}$$

Avec :

T : facteur de transmission.

A : absorbance ou densité optique.

C : concentration massique du composé dosé.

I, I<sub>0</sub> : intensité du faisceau émergent et incident.

$\varepsilon$  : Coefficient d'extinction.

L : épaisseur de la cuve.



Figure III.21 : Un spectrophotomètre UV visible (Chimadzu UV- mini1240). [1]

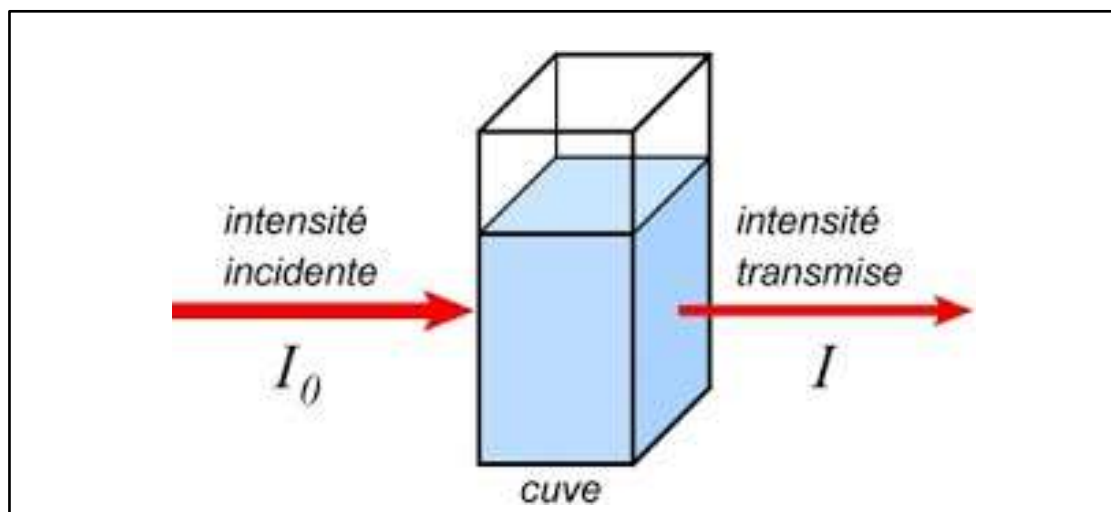


Figure III.22 : Dosage d'une espèce chimique en solution.[1]

## III.2. Produits utilisés

### III.2.1. Chlorure de méthyl thioninium

le bleu de méthylène (ou chlorure de méthylthioninium) est un composé hétérocyclique tricyclique dérivé de la phénothiazine, de masse molaire ( $M=319,85 \text{ g/mol}$ ) et de formule brute ( $C_{16}H_{18}ClN_3S$ ), employé à la fois comme médicament et comme colorant. Son mécanisme d'action repose sur ses propriétés d'oxydoréduction (redox). Il se présente sous la forme d'un solide cristallisé inodore, soluble dans l'eau (donnant une solution bleue intense).

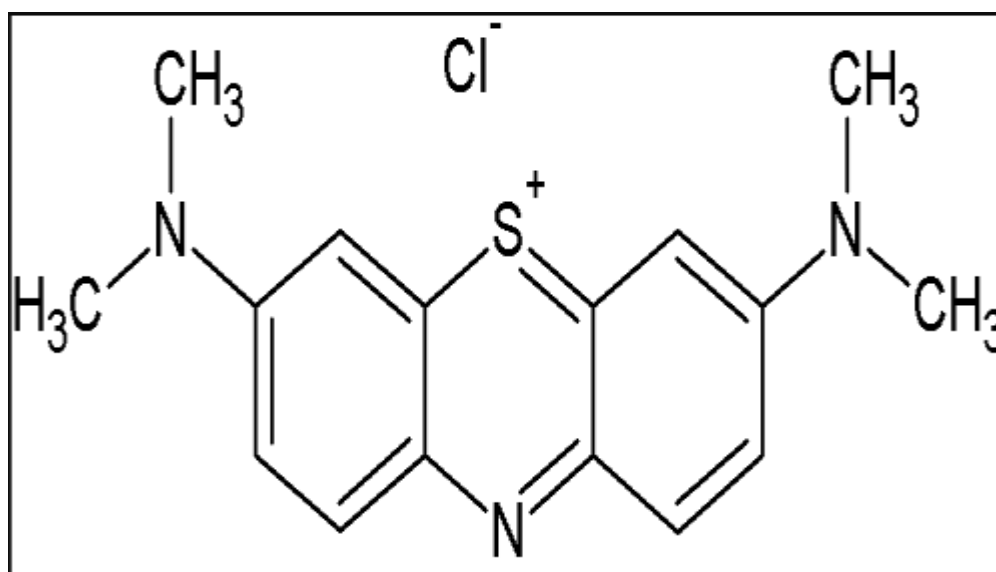


Figure III.23 : Structure chimique du colorant Chlorure de Methylthioninium [2].

### III.2.2. Préparation des solutions de Chlorure de Methylthioninium

Pour préparer une solution mère de Chlorure de Methylthioninium de concentration 1000 mg/L on pèse 1g de poudre de bleu de méthylène 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.

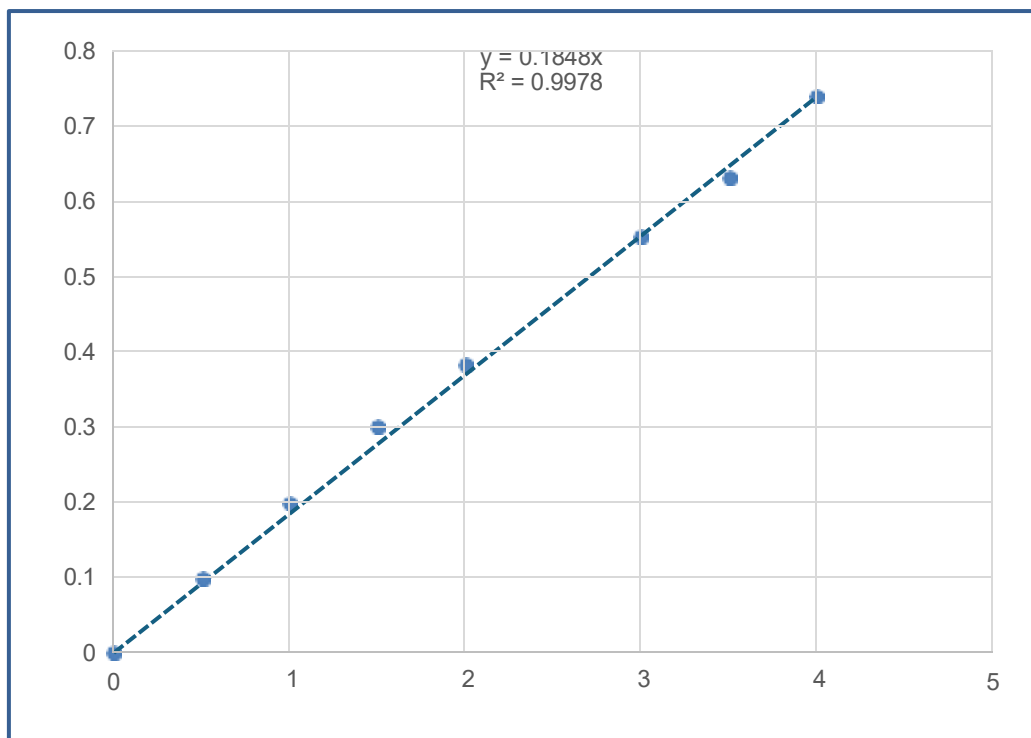
### III.2.3. Etablissement de la courbe d'étalonnage

A partir de la solution mère, préparation par dilutions successives d'une série de solutions de concentrations bien déterminées de 0.5 à 4 mg/L. Celles-ci sont, par la suite, analysées par spectrophotométrie UV visible après 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 bleu de méthylène présente un pic à la longueur d'onde égale à  $\lambda_{\max} = 665 \text{ nm}$ , 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.3 pour le bleu de méthylène, 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.1 et représentés graphiquement sur la figure (III.1).

Tableau III.1 : la courbe d'étalonnage de bleu de méthylène.

<b>C (mg/L)</b>	0	0.5	1	1.5	2	3	3.5	4
<b>ABS</b>	0	0,095	0,198	0,297	0,382	0,553	0,628	0,74



**Figure III.24** : la courbe d'étalonnage de bleu de méthylène.

On constate que la courbe est une droite avec un coefficient de corrélation égale à 0,9978 représentant un bon ajustement linéaire. L'équation de la droite donnant l'absorbance A en fonction de la concentration du bleu de méthylène est  $Abs = 0,1848 \times C$ , Cette équation sera utilisée pour calculer la concentration d'une solution inconnue de bleu de méthylène.

### III.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.3.1. Effet du temps de contact sur l'adsorption de chlorure de methylthioninium

Afin d'étudier le temps de contact nécessaire pour atteindre l'équilibre d'adsorption pour Le chlorure de methylthioninim, nous avons préparé une solution du colorant de concentrations de 300 mg/L avons suivi la procédure suivante :

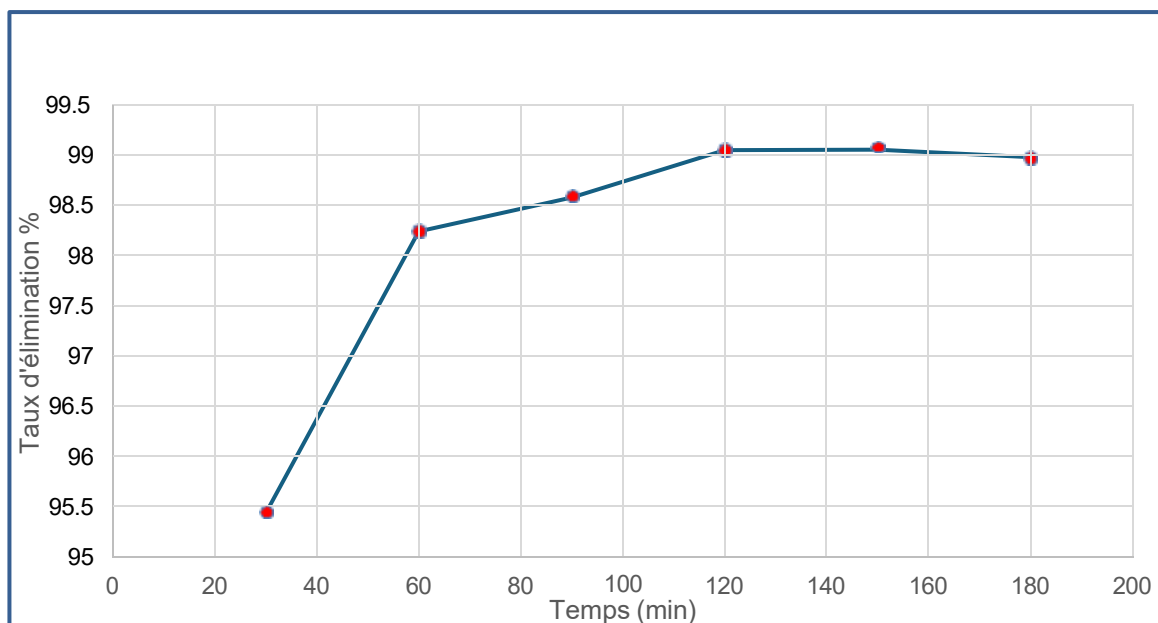
### Chapitre III: Partie expérimentale

Dans une série des béchers, nous avons mis 25 mL de la solution préparée puis nous avons introduit 0,025g de charbon actif. L'ensemble des béchers sont agités à des temps d'agitation de 30 min à 180 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.2** et représentés graphiquement sur la **figure III.4**

**Tableau III.2** : Étude de temps d'équilibre de l'adsorption de chlorure de methylthioninium

Temps (min)	30	60	90	120	150	180
Ce (mg/L)	13.690	5.287	4.275	2.857	2.846	3.073
Taux d'élimination (%)	95.437	98.238	98.575	99.048	99.051	98.975



**Figure III.25** : 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 chlorure de méthylthioninium augmente avec l'évolution de temps. Après 120 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 120 min est considéré comme temps optimal pour cette application.

### **III.3.2. Effet de la dose de l'adsorbant**

On introduit dans une série de béchers contenant successivement des masses de 0.01 ;0.015 ;0.02 ;0.025 ;0.03 et 0.035 g de notre adsorbant et 25 ml de la solution de chlorure de méthylthioninium de concentration de 300 mg/L. L'ensemble est agité pendant 120 min puis centrifugé et analysé par un spectrophotomètre. Les résultats de ces mesures sont regroupés dans le **tableau III.3** et représentés graphiquement sur la **figure III.5**.

**Tableau III.3** : Effet de la dose sur l'adsorption.

<b>Adsorbant (g)</b>	0.01	0.015	0.020	0.025	0.030	0.035
<b>Taux d'élimination %</b>	42.46	44.26	84.34	98.66	98.48	98.36

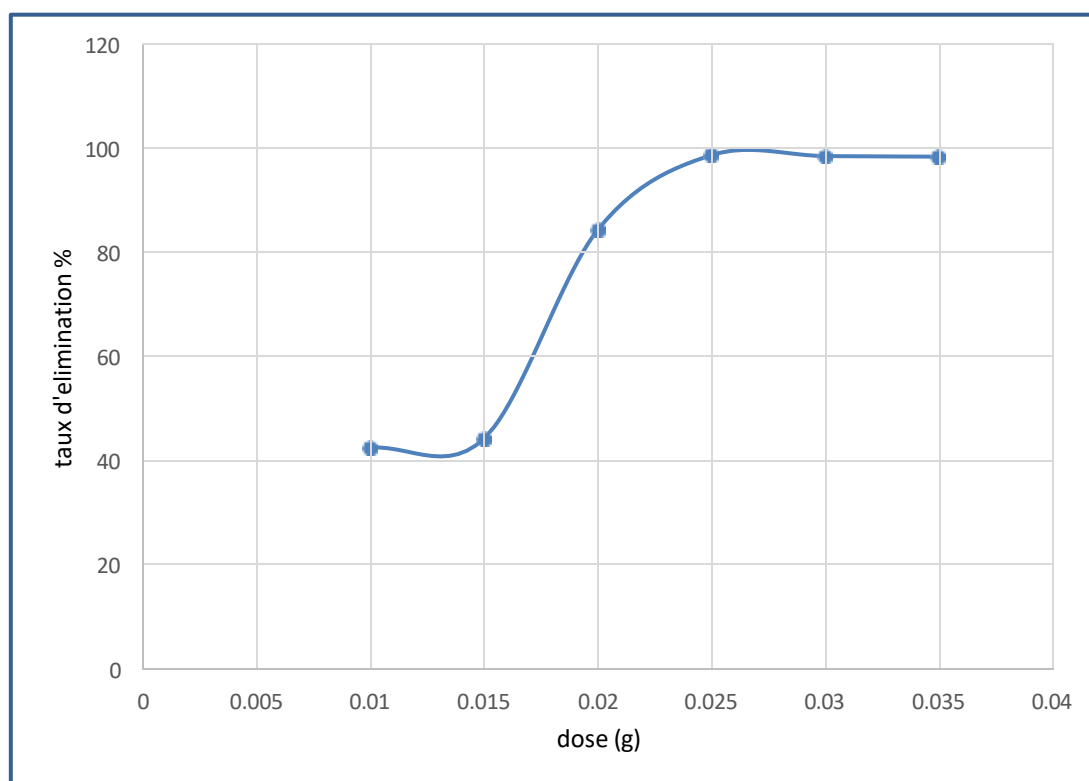


Figure III.26 : Evolution de taux d'élimination en fonction de la dose.

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 chlorure de methylthioninium est atteint pour une dose de charbon égale à 0.025 g. Par conséquent, on va utiliser cette nouvelle dose pour toutes les expériences d'adsorption suivantes.

### III.3.3. 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 700 mg/L auxquelles on a ajouté la dose de l'adsorbant trouvé auparavant. L'ensemble des béchers sont agités pendant 120 min, puis centrifugés et analysés.

Les valeurs de cette étude sont mentionnées dans le **tableau III.4**.

**Tableau III.4:** Résultats obtenues d'isotherme d'adsorption.

<b>C<sub>0</sub> (mg/L)</b>	<b>C<sub>e</sub> (mg/L)</b>	<b>q<sub>e</sub> (mg/g)</b>
100	0.135	99.86
150	0.292	149.71
200	0.341	199.66
250	0.510	249.49
300	4.031	295.97
350	30.844	319.16
400	49.242	350.76
450	97.403	352.60
500	144.481	355.52
600	242.424	357.58
700	372.294	327.71

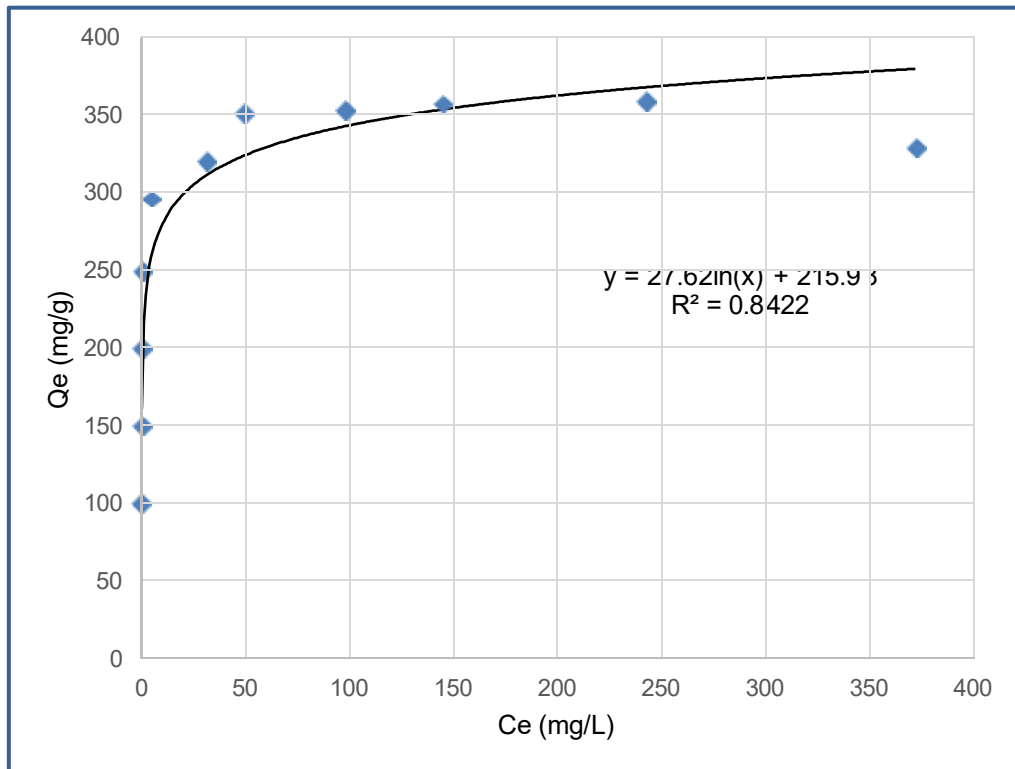


Figure III.27: Isotherme d'adsorption.

D'après la **figure III.6** et selon la classification de Giles, l'isotherme 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. Modélisations

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

Les valeurs de cette étude sont récapitulées dans le **tableau (III.4)** et représentées graphiquement sur les **figures III.7** et **III.8**:

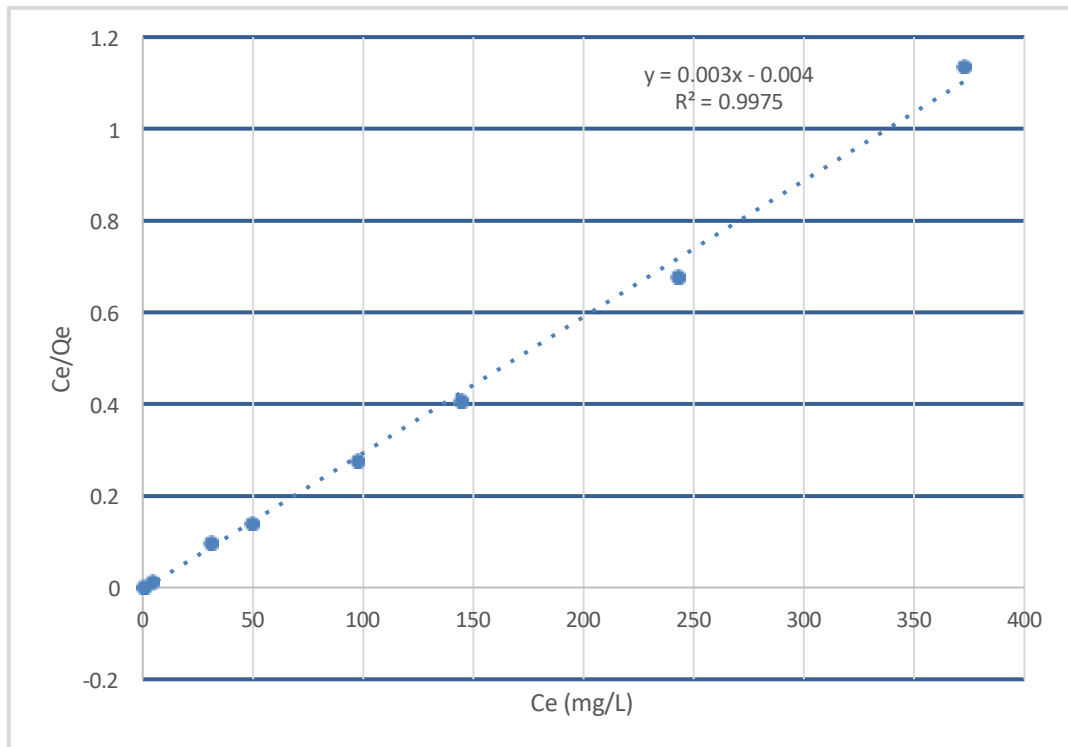


Figure III.28 : Application du modèle de Langmuir pour l'adsorption.

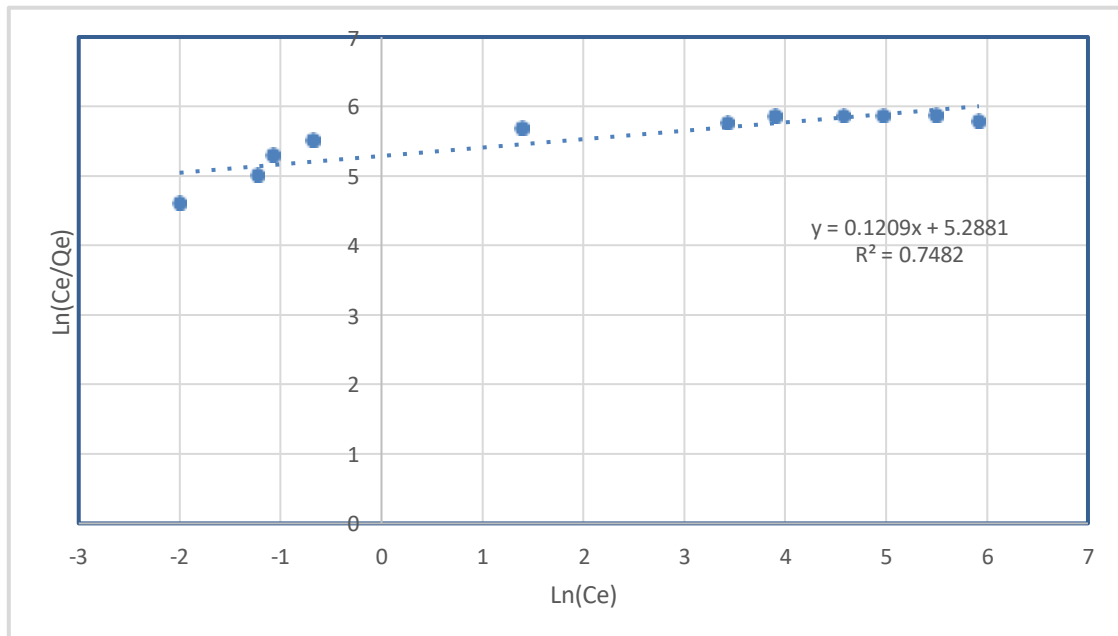


Figure III.29 : Application du modèle de Freundlich pour l'adsorption.

A partir des modèles tracés dans les figures (III.07) et (III.08), on a regroupé les principaux paramètres pour chaque modèle dans le **tableau III.5**.

**Tableau III.5** : les principaux paramètres de chaque modèle.

Langmuir			Freundlich		
b	$K_L$	$R^2$	n	$K_F$	$R^2$
33.33	0.075	0,9975	1.14	0.0051	0,7482

Suivant les résultats illustrés sur le **tableau III.05** le modèle de Langmuir convient parfaitement à cette adsorption avec une capacité d'adsorption de 33.33 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.06)**, **(III. 07)**, **(III.08)**, et le **tableau III. 7** nous montrent que :

- La capacité d'adsorption du chlorure de methylthioninium 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 chlorure de methylthioninium sur le charbon actif suit le modèle de Langmuir d'une façon acceptable dans la figures : **(III.07)** .
- La pente et l'ordonnée à l'origine déterminent la capacité maximale d'adsorption b ainsi que la constante K pour l'adsorbant étudié.

## **Références bibliographiques**

[1] : Braga, M. S., Sant'Ana, A. C., & dos Santos, A. S. *Multispectral colorimetric portable system for detecting metal ions in liquid media* [Schéma de la loi de Beer-Lambert]. (2019).

[2] : Braga, M. S., Gomes, O. F., Jaimes, R. F. V. V., Braga, E. R., Borysow, W., & Salcedo, W. J. *Multispectral colorimetric portable system for detecting metal ions in liquid media* [Schéma de la loi de Beer-Lambert]. Communication présentée au 4th International Symposium on Instrumentation Systems, Circuits and Transducers (INSCIT), Brésil. <https://doi.org/10.1109/INSCIT.2019.8868861>. (2019)

---

# Conclusion Générale

---

## *Conclusion*

---

Le travail effectué dans ce mémoire, portant sur l'élimination du bleu de méthylène (BM) par un charbon actif préparé à partir d'une biomasse (CAP), nous permet de conclure que :

- L'adsorption du bleu de méthylène est rapide pendant les premières minutes, puis ralentit jusqu'à atteindre un équilibre au bout de 180 minutes, correspondant au temps optimal.
- L'étude de l'effet de la dose d'adsorbant montre que l'efficacité d'élimination augmente avec la masse de charbon actif, en raison de la multiplication des sites actifs disponibles à la surface.
- Le modèle de Langmuir s'est révélé le plus adapté pour décrire le processus d'adsorption, avec une capacité maximale d'adsorption de 33,33 mg/g et un coefficient de corrélation élevé ( $R^2=0,9975$ ), indiquant une adsorption monomoléculaire sur une surface homogène.

Ainsi, l'adsorption du bleu de méthylène sur le charbon actif préparé s'est révélée simple, rapide, efficace et économique, ce qui confirme le potentiel de ce matériau comme solution prometteuse pour le traitement des eaux usées contaminées par des colorants.