



MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT  
SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE  
SCIENTIFIQUE  
UNIVERSITE ABDELHAMID IBN BADIS-  
MOSTAGANEM



**Faculté des Sciences Exactes et de l'Informatique**

**Département de Chimie.**

**Filière : Chimie appliquée.**

MEMOIRE DE FIN D'ETUDES

Pour l'Obtention du Diplôme de Master en Chimie.

Option : **Chimie appliquée.**

Présenté par :

**Boudellal Maroua Ikram**

**THEME:**

***Régénération d'un biosorbant utilisé pour  
l'élimination d'un déchet industriel***

Soutenue le : 30 juin 2024

**Devant le Jury :**

<b>Président</b>	<b>Pr A.BELHAKEM</b>	<b>UNIV. Mostaganem</b>
<b>Encadrant</b>	<b>Dr N.MESSAOUDI</b>	<b>UNIV. Mostaganem</b>
<b>Examineur</b>	<b>Dr S.BOURAHLA</b>	<b>UNIV. Mostaganem</b>

**Année universitaire : 2023-2024**

# Remerciement

Je voudrais remercier **Dieu** tout-puissant qui m'a donné la force, la volonté, la patience, la santé et la confiance tout au long de mes années d'études pour mener à bien cet humble travail.

Je tiens à remercier Dr **N.Messaoudi**, mon encadrant, qui m'a toujours écouté tout au long de la préparation de ce sujet, et pour son aide et son temps, merci beaucoup, et je vous souhaite bonheur, continuité et réussite.

Je remercie également Dr **S.Bourahla** pour toutes les informations et le temps qu'elle m'a accordés, ainsi que pour son aide.

Je tiens également à exprimer ma gratitude et mes sincères remerciements aux membres du jury monsieur le Pr **A.Belhakem** et Dr **S.Bourahla** pour avoir accepté d'honorer ma soutenance par leurs présence et de leurs expertise.

Je tiens également à remercier le personnel du laboratoire pédagogique de la faculté des sciences exactes et de l'informatique de l'université de Mostaganem pour son aide, en particulier Mr **H.Ghribi** pour sa coopération et ses conseils.

Je tiens également à remercier tous nos enseignants pour leur générosité et leur patience malgré leurs responsabilités académiques et professionnelles.

Enfin, je tiens à remercier toutes les personnes qui ont contribué d'une manière ou d'une autre à ce travail.

Mes remerciements à tous

# Dédicas

Celui qui a dit "je l'ai" l'a fait.

À un rêve tant attendu qui est devenu une fière réalité.

À mon ange pur, ma force après Dieu, mon premier et éternel soutien, ma mère : **Boukholkhal Fatima**, je dédie cette réalisation, sans tes sacrifices elle n'aurait pas existé, reconnaissant que Dieu t'ait choisie pour moi parmi les êtres humains, ô meilleur soutien et substitut.

À celle qui m'a soutenu sans limites et ma tues donné gratuitement, mon père : **Abd El Kader** que Dieu le protège.

A ma côte stable et à la sécurité de mes jours, à ceux qui m'ont fortifié et qui ont été mes sources, mon frère **Ahmed** et mes jumeaux **Mustapha** et **Fouad**.

A notre petit garçon qui a apporté de la joie à notre foyer : **Mohamed**, et sa maman : **Amel**.

À la source de ma force, les partisans, les soutiens et le mur, à ceux qui m'ont tendu la main dans les moments de faiblesse, à ceux qui ont parié sur ma réussite, à ceux qui se sont efforcés de m'aider et qui ont été serviables et solidaires, ma grande mère **Fatma**, et à tous **mes oncles** et **tantes**, et surtout **Ahmed**.

À tous mes amis : **Nadjet**, **Chaimaa**, **Nawal**, **Meziane** et spécialement **Abir** et **Chaimaa** je remercie Dieu pour votre présence dans ma vie.

A tous ceux qui me sont chers et qui m'ont soutenu.

*MAROUA*

## **Résume :**

Le but de ce travail est l'étude de la désorption de deux colorants (bleu de méthylène (BM) et vert acide 25 (AG25)) ainsi que la régénération d'un biosorbants brut (AB) et traité thermiquement à 400 °C (AT). A fin d'évaluer leurs capacités de réutilisation. Pour évaluer la capacité d'adsorption des deux matériaux, nous avons effectué un processus d'adsorption. La modélisation de l'équilibre d'adsorption par régression linéaire a montré que nos matériaux représentaient mieux par le modèle de Langmuir ( $R^2 > 0,9$ ). Trois solvants ont été utilisés pour désorber les colorants adsorbés sur les biosorbants (eau distillée, HCl et NaOH). Les résultats montre que pour le AB, on a obtenu respectivement quatre et trois cycles pour BM et AG25 avec le NaOH, tandis que pour le AT, on a obtenu quatre et deux cycles pour BM et AG25 avec le HCl.

**Mots-clés:** Régénération, Biosorbants, Bleu de méthylène, vert acide 25, Adsorption, Désorption.

## **Abstract:**

The aim of this work is to study the desorption of two dyes (methylene blue (BM) and acid green 25 (AG25)) and the regeneration of a raw biosorbent (AB) and one heat-treated at 400°C (AT). In order to assess their reusability. To assess the adsorption capacity of the two materials, we carried out an adsorption process. Modeling of the adsorption equilibrium by linear regression showed that our materials represented better par the Langmuir model ( $R^2 > 0.9$ ). Three solvents were used to desorb the dyes adsorbed on the biosorbents (distilled water, HCl and NaOH). The results show that for AB, four and three cycles were obtained respectively for BM and AG25 with NaOH, while for AT, four and two cycles were obtained for BM and AG25 with HCl.

**Key words:** Regeneration, Biosorbents, Methylene blue, Acid green 25, Adsorption, Desorption.

## ملخص :

الهدف من هذا العمل هو دراسة امتصاص صبغين (الميثيلين الأزرق (BM) والحمض الأخضر 25 (AG25)) وتجديد مادة ماصة حيوية خام (AB) وأخرى معالجة حراريًا عند 400 درجة مئوية (AT). وكان الهدف هو تقييم قابليتها لإعادة الاستخدام. لتقييم قدرة المادتين على الامتزاز، أجرينا عملية امتزاز. أظهرت نمذجة الانحدار الخطي لتوازن الامتزاز أن أداء موادنا كان أفضل من نموذج لانجموير ( $R^2 > 0.9$ )، واستخدمنا ثلاثة مذيبات لإزالة امتصاص الأصباغ الممتصة على المواد الممتازة الحيوية (الماء المقطر وكلوريد الهيدروجين وحمض الهيدروكلوريك وهيدروكسيد الصوديوم)، وأظهرت النتائج أنه بالنسبة لـ AB، تم الحصول على أربع وثلاث دورات على التوالي لكل من BM و AG25 مع حمض الهيدروكسيد الصوديوم، بينما تم الحصول على أربع دورات ودورتين لكل من BM و AG25 مع حمض الهيدروكلوريك.

**الكلمات الرئيسية:** التجديد، الممتازات الحيوية، الميثيلين الأزرق، الحمض الأخضر 25، الامتزاز.

## Liste des abréviations et de symboles

- ADN** : acide désoxyribonucléique.
- ARN** : Acide ribonucléique.
- AB**: biosorbant brute.
- AT**: biosorbant active thermiquement.
- BM** : Bleu de méthylène.
- AG25** : acide vert.
- V** : Le volume (**ml**).
- m** : La masse (**g**).
- C<sub>0</sub>**: Concentration initiale (**mg/l**).
- Q<sub>0</sub>** : Masse en soluté initialement présente sur le solide (**mg/g**).
- q<sub>e</sub>**: La quantité de soluté adsorbée par unité de masse de l'adsorbant à l'équilibre (**mg/g**).
- q<sub>m</sub>**: La capacité maximale d'adsorption (**mg/g**).
- k<sub>L</sub>** : Constante d'équilibre (**l/mg**).
- C<sub>e</sub>**: La concentration du soluté dans la phase liquide à l'équilibre (**mg/l**).
- C<sub>e</sub>** : Concentration d'acide dans la solution à l'équilibre (**mg/l**).
- k<sub>F</sub>** : Constante de capacité.
- n** : facteur d'intensité.
- A** : la constante de Temkin (**l/mg**).
- ΔQ** : Variation d'énergie d'adsorption (**J/mol**).
- T** : la température (**K**).
- R** : la constante des gaz (**8,314 J /mol.K**).
- A** : l'absorbance.
- ε** : Coefficient d'absorption molaire (**l/mol.cm**).
- l** : L'épaisseur de la solution traversée ou trajet optique (**cm**).
- C** : La concentration molaire de l'échantillon dans la solution (**mol/l**).
- T** : Facteur de transmission ou transmittance.
- I** : Intensité du faisceau émergent.
- Q<sub>désorbée</sub>** : La quantité adsorbée..
- Q<sub>adsorbée</sub>** : La quantité désorbée.
- R<sup>2</sup>** : Facteur de corrélation..
- IRTF** : Infrarouge à transformée de Fourier.
- λ<sub>max</sub>** : Longueur d'onde du colorant (**nm**).

**HCl** : Acide chlorhydrique.

**NaOH** : Hydroxyde de sodium.

**pH** : Potentiel d'hydrogène.

## Liste des équations

*Équation 1 :  $q_e = (m/V) \cdot (C_0 - C_e) + Q_0$*

*Équation 2:  $q_e = (qm \cdot kL \cdot C_e) / (1 + C_e \cdot kL)$*

*Équation 3:  $C_e/q_e = 1/(C_e \cdot kL \cdot qm) + 1/qm$*

*Équation 4:  $q_e = kF \cdot C_e^{(1/n)}$*

*Équation 5:  $\ln q_e = \ln kF + 1/n \cdot \ln C_e$*

*Équation 6:  $q_e = (RT/b) \cdot \ln (A \cdot C_e)$*

*Équation 7:  $q_e = B \ln A + B \ln C_e$*

*Équation 8:  $A = \log I_0/I$*

*Équation 9:  $A = \log I_0/I$*

*Équation 10:  $A = \epsilon I C$*

*Équation 11:  $\text{taux de désorption} = (Q \text{ désorbée} / Q \text{ adsorbée})$*

## Liste des figures :

<b>Figure 1:</b> Les sources de la pollution des eaux. ....	3
<b>Figure 2:</b> La Structure du bleu de méthylène. ....	5
<b>Figure 3:</b> La structure de l'acide vert.....	6
<b>Figure 4:</b> Les dangers des rejets de textiles .....	7
<b>Figure 5:</b> Mécanisme du transfert d'un adsorbant vers le site d'adsorption .....	10
<b>Figure 6:</b> Classification des isothermes d'adsorption .....	11
<b>Figure 7:</b> Schéma de la préparation du biosorbant AB.....	17
<b>Figure 8:</b> Biosorbant avec une activation thermique AT.....	18
<b>Figure 9:</b> Solution mère d'AG25. ....	18
<b>Figure 10:</b> Solutions mères du NaOH et HCl.....	19
<b>Figure 11:</b> Principe de la loi de Béer Lambert. ....	21
<b>Figure 12:</b> Schéma du test d'adsorption d'AT avec BM. ....	22
<b>Figure 13:</b> Schéma du test de désorption d'AT avec BM. ....	23
<b>Figure 14:</b> Courbe d'étalonnage de BM 80mg/l à $\lambda = 665(\text{nm})$ . ....	25
<b>Figure 15:</b> Courbe d'étalonnage de l'AG25 80 mg/l à $\lambda = 643(\text{nm})$ .....	26
<b>Figure 16:</b> Isotherme de Langmuir pour l'adsorption du BM. ....	27
<b>Figure 17:</b> Isotherme de Langmuir pour l'adsorption de l'AG25.....	27
<b>Figure 18:</b> Isotherme de Freundlich pour l'adsorption de BM. ....	28
<b>Figure 19:</b> Isotherme de Freundlich pour l'adsorption de l'AG25. ....	28
<b>Figure 20:</b> Isotherme de Temkin pour l'adsorption de BM. ....	29
<b>Figure 21:</b> Isotherme de Temkin pour l'adsorption de l'AG25. ....	29
<b>Figure 22:</b> Histogramme de nombre de cycles de l'AB dans le BM. ....	31
<b>Figure 23:</b> Histogramme de nombre de cycles de l'AT dans le BM. ....	32
<b>Figure 24:</b> Histogramme de nombre de cycles de l'AB dans l'AG25.....	33
<b>Figure 25:</b> Histogramme de nombre de cycles de l'AT dans l'AG25. ....	33

## Liste des tableaux :

<b>Tableau 1:</b> Les propriétés physico-chimiques du bleu de méthylène.....	5
<b>Tableau 2:</b> Les caractéristiques de l'acide vert. ....	6
<b>Tableau 3:</b> La différence entre les deux types d'adsorption. ....	9
<b>Tableau 4:</b> Paramètres des isothermes d'adsorption du BM selon les modèles de Langmuir, Freundlich et Temkin.....	29

## Table de matière

<b>Introduction .....</b>	<b>1</b>
<b>Chapitre I : Synthèse bibliographique</b>	
<b>1 La pollution .....</b>	<b>3</b>
<b>2 La pollution de l'eau .....</b>	<b>3</b>
<b>3 Les types de polluants .....</b>	<b>3</b>
3.1 Polluants physiques .....	3
3.2 Polluants chimiques .....	4
3.3 Polluants biologiques.....	4
<b>4 Pollution par les colorants.....</b>	<b>4</b>
<b>5 Définition du colorant .....</b>	<b>4</b>
5.1 Le bleu de méthylène.....	5
5.2 L'acide vert (Acid Green AG 25).....	5
<b>6 La toxicité du colorant .....</b>	<b>6</b>
<b>7 Définition de l'adsorption .....</b>	<b>7</b>
<b>8 Le principe de l'adsorption.....</b>	<b>7</b>
<b>9 Les différents types d'adsorption.....</b>	<b>8</b>
9.1 Adsorption chimique (ou chimisorption) .....	8
9.2 Adsorption physique (ou physiosorption) .....	8
<b>10 Facteurs Influençant l'adsorption .....</b>	<b>9</b>
<b>11 Mécanisme d'adsorption .....</b>	<b>10</b>
<b>12 Isothermes d'adsorption.....</b>	<b>11</b>
<b>13 Classification des isothermes d'adsorption .....</b>	<b>11</b>
<b>14 Modélisation des isothermes :.....</b>	<b>11</b>
14.1 Modèle de Langmuir : .....	12
14.2 Modèle de Freundlich :.....	12
14.3 Modèle de Temkin :.....	13

<b>15</b>	<b>Définition De Biosorption.....</b>	<b>13</b>
<b>16</b>	<b>Définition des biosorbants .....</b>	<b>13</b>
<b>17</b>	<b>Classification des biosorbants.....</b>	<b>13</b>
17.1	Les biosorbants d'origine aquatiques .....	14
17.2	Les biosorbants d'origine agro-industrielles .....	14
<b>18</b>	<b>La régénération des biosorbants .....</b>	<b>14</b>
<b>19</b>	<b>Les méthodes de la régénération .....</b>	<b>14</b>
19.1	La régénération par les solvants.....	14
19.2	Régénération thermique.....	14
19.3	Régénération chimique .....	14
<b>20</b>	<b>Régénération biologique .....</b>	<b>15</b>
20.1	Régénération électrique .....	15
20.2	Régénération par traitement photochimique .....	15
<b>21</b>	<b>Les avantages de la régénération .....</b>	<b>15</b>
<b>22</b>	<b>Les inconvénients de la régénération.....</b>	<b>16</b>

## Partie expérimentale

### Chapitre II : Matériels et méthodes

<b>1</b>	<b>Préparation du biosorbants .....</b>	<b>17</b>
<b>2</b>	<b>Activation thermique du biosorbant (AT).....</b>	<b>17</b>
<b>3</b>	<b>Préparation des solutions .....</b>	<b>18</b>
3.1	Préparation de la solution de BM .....	18
3.2	Préparation de la solution d'AG25 .....	18
3.3	Préparation de la solution d' HCl .....	19
3.4	Préparation de la solution de NaOH .....	19
<b>4</b>	<b>Spectrométrie infrarouge à transformée de Fourier ( FTIR ).....</b>	<b>19</b>
	Les comportements de l'appareille .....	19
<b>5</b>	<b>Analyse par spectrophotométrie UV-visible .....</b>	<b>20</b>

La spectrophotométrie .....	20
<b>6 Etablissement de la courbe d'étalonnage.....</b>	<b>21</b>
<b>7 Etude de la régénération .....</b>	<b>22</b>
7.1 Adsorption de BM par le biosorbant .....	22
7.2 Adsorption de colorant AG25 par le biosorbant .....	22
<b>8 Etude de la désorption des colorants du biosorbant .....</b>	<b>23</b>
8.1 Désorption dans le colorant BM .....	23
8.2 Désorption dans le colorant AG25.....	23

### **Chapitre III : Resultats et duscusions**

<b>1 Courbes d'étalonnage des solutions .....</b>	<b>25</b>
<b>2 Les isothermes de l'adsorption.....</b>	<b>26</b>
2.1 Isotherme de Langmuir.....	26
2.2 Isotherme de Freundlich .....	28
2.3 Isotherme de Temkin .....	28
<b>3 Régénération du biosorbant.....</b>	<b>30</b>
<b>4 Les résultats de la régénération.....</b>	<b>30</b>
4.1 Le bleu de méthylène.....	30
4.1.1 Le biosorbant brute .....	30
4.1.2 Le biosorbant avec un traitement thermique .....	31
4.2 L'acide green.....	32
4.2.1 Le biosorbant brute .....	32
4.2.2 Le biosorbant avec une activation thermique .....	33
<b>Conclusion .....</b>	<b>37</b>

### **Les références bibliographiques**

# **Introduction générale**

# Introduction générale

---

## Introduction

À l'heure actuelle, l'objectif le plus fondamental à l'échelle nationale et internationale est de préserver l'environnement, en particulier améliorer la qualité de l'eau. Certains produits chimiques d'origine industrielle ou agricole sont responsables de la pollution des eaux de surface et des eaux souterraines. Ces substances peuvent endommager l'environnement et provoquer des problèmes de santé, notamment des cancers et d'autres maladies difficiles à diagnostiquer à long terme. De plus, la dégradation de l'environnement animal et végétal se traduit par des mutations génétiques qui provoquent des changements d'espèces, voire, dans le pire des cas, leur disparition.

Les eaux chargées de colorants dans l'industrie textile sont fréquemment rejetées en tant que déchets industriels, ce qui a des conséquences sur le milieu aquatique, le sol et, par conséquent, les plantes. La dissociation de ces colorants dans l'eau peut être compliquée, car ils sont fabriqués de manière synthétique et possèdent une structure moléculaire complexe qui les rend plus persistants et difficiles à biodégrader (1).

Ces contaminants sont souvent éliminés par des traitements chimiques conventionnels tels que la coagulation, la coagulation électrique, qui se sont avérés efficaces, mais coûteux. Cela a incité les chercheurs d'utiliser des matériaux naturels abondants et moins chers, y compris les substances naturelles, qui sont maintenant utilisés dans un large éventail d'applications dans le traitement de l'eau(2), (3).

Parmi les exemples de biosorbants, on peut citer les coques de noix de coco, les coques d'amandes, l'écorce de palmier, la bagasse, la bagasse de canne à sucre, les noyaux de pêche, les noyaux de dattes, les noyaux d'olive, le chitosane et les coquilles d'œuf (4).

Ces substances naturelles sont utilisées dans le processus d'adsorption parce qu'il s'agit d'une méthode plus efficace, biocompatible, durable et respectueuse à l'environnement, qui peut être renouvelée et réutilisée plusieurs fois, ce qui augmente la durée de vie utile du biosorbant, réduit les coûts, préserve les ressources, minimise les déchets, réduit la nécessité de fabriquer de nouveaux biosorbants et d'éliminer les biosorbants usagés.

A cet effet l'objectif global de notre travail est basé sur l'étude expérimentale de la régénération d'un biosorbant saturé pour l'élimination de deux colorants un cationiques et l'autre anioniques largement utilisés dans l'industrie.

Notre manuscrit commence par une introduction générale et est divisé en trois chapitres, dont le premier est la partie bibliographique, et les deux autres chapitres représentent la partie expérimentale.

## Introduction générale

---

- Le premier chapitre est entièrement consacré à une synthèse bibliographique dans laquelle nous passons en quelques points généraux concernant la pollution de l'eau, les colorants, l'adsorption, les substances naturels et la méthode de la régénération.
- Le deuxième chapitre est une section expérimentale qui présente le matériel, les appareilles et les méthodes utilisés pour régénérer notre biosorbants par différents solvants.
- Le troisième chapitre rassemble les résultats obtenus en laboratoire.

Enfin, ce travail se termine par une conclusion générale qui résume les principaux les résultats expérimentaux obtenus avec des perspectives suggérées pour mieux s'orienter dans ce procédé.

# **Chapitre I**

## **Synthèse bibliographique**

## 1 La pollution

La pollution est le changement des propriétés physiques, chimiques et biologiques de l'air ou sol ou eau et il cause des dommages à la vie humaine dans le domaine de l'activité quotidienne, industrielle et agricole, ce qui entraîne des dommages causés aux sources naturelles de l'environnement (5).

## 2 La pollution de l'eau

On appelle pollution de l'eau la modification chimique, physique ou biologique de la qualité de l'eau qui a un effet toxique sur tous les organismes. En d'autres termes, c'est l'introduction dans le milieu aquatique de toute substance susceptible de changer les caractéristiques physiques, chimiques et/ou biologiques de l'eau et de créer des risques pour la santé de l'homme, de nuire à la faune et à la flore aquatique (6).



**Figure 1:** Les sources de la pollution des eaux.

## 3 Les types de polluants

Il existe trois types de polluants :

- Polluants physiques.
- Polluants chimiques.
- Polluants biologiques.

### 3.1 Polluants physiques

Les phénomènes physiques qui comprennent les radiations (qui sont plus dangereuses pour l'environnement et le renouvellement), la chaleur, le bruit, les vibrations, les ondes électromagnétiques et ces polluants interfèrent avec les caractéristiques physiques des éléments de l'environnement ou du matériel vivant (7).

## 3.2 Polluants chimiques

Parmi les polluants les plus répandus dans l'environnement figurent un grand nombre de substances naturelles telles que le pétrole et ses dérivés, les huiles, les graisses, les toxines naturelles, le plomb et le mercure et les gaz des volcans, ainsi qu'un grand nombre de produits manufacturés tels que les pesticides et les produits agrochimiques les déchets industriels provenant des acides, des sels, des règles, des incendies, des gaz d'échappement des automobiles et des usines les particules fines provenant des cimenteries et les produits chimiques liquides lorsqu'ils sont déversés dans le sol ou dans l'eau (8).

## 3.3 Polluants biologiques

Il s'agit principalement d'organismes microscopiques qui modifient certaines caractéristiques ou caractéristiques de l'environnement lorsqu'ils sont présents ou nuisibles à la santé humaine. Selon les fondements scientifiques de l'écologie, il s'agit d'un élément biologique naturel, notamment un parasite qui vit dans l'intestin humain ou chez les animaux et qui peut provoquer un état pathologique comme dans le cas des parasites intestinaux ou qui n'a pas d'effet néfaste sur la santé comme dans le cas de nombreuses bactéries intestinales que les pratiques humaines ont conduit Mauvais sur l'environnement, comme le fait de jeter des déchets humains dans les rivières ou de jeter des cadavres d'animaux dans les sources. En effet, c'est le milieu aquatique qui est responsable de nombreux problèmes environnementaux et sanitaires, et donc du transport de ces quartiers aux polluants environnementaux, de sorte que l'expression de bio-polluants se limite à des agents pathogènes tels que les bactéries, les parasites, les champignons et les virus (9).

## 4 Pollution par les colorants

Aujourd'hui, les colorants sont très utilisés dans le monde entier pour teindre un nombre illimité d'objets (l'industrie textile, la teinturerie, l'industrie de pâte et papier, l'industrie cosmétique et l'industrie du savon) (10), (11), (12), (13).

## 5 Définition du colorant

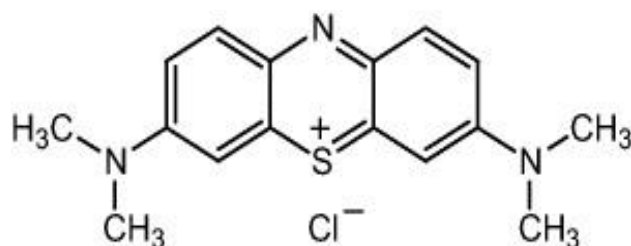
Un colorant est une substance chimique colorée, naturel ou synthétique capable de donner sa coloration à des autres corps qui sont des composés organiques insaturés et aromatiques. Les végétales (garance, indigo, gaude) ou même animales (carmin tiré de la cochenille) se sont les premières matières colorantes. Les dérivées des hydrocarbures contenus dans le goudron de houille se sont la totalité des matières colorantes employées actuellement (14).

Parmi les colorants les plus utilisés : le bleu de méthylène et l'Acide Vert 25 (Acid Green 25).

# Chapitre I : Synthèse bibliographique

## 5.1 Le bleu de méthylène

Bleu de méthylène (chlorure de méthylthionium ou thiazine) est colorant organique de formule brute  $C_{16}H_{18}Cl.N_3S$  et la formule chimique :



**Figure 2:** La Structure du bleu de méthylène.

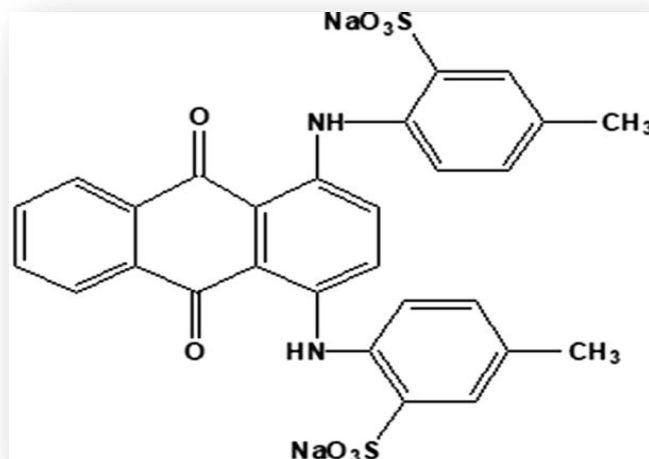
On trouve le bleu de méthylène dans les pharmacies, se forme des cristaux ou solution (15).

**Tableau 1:** Les propriétés physico-chimiques du bleu de méthylène(16).

<b>Le nom</b>	bleu de méthylène
<b>La masse molaire (g/mol)</b>	$319,852 \pm 0,022$
<b>Couleur</b>	Bleu foncé
<b>Odeur</b>	Inodore
<b>Densité Apparente (kg/m<sup>3</sup>)</b>	400 à 600
<b>Température de fusion °C</b>	180
<b>Solubilité dans l'eau (g/l) à 20 °C</b>	50
<b>Solubilité dans l'éthanol (g/l) à 20 °C</b>	10

## 5.2 L'acide vert (Acid Green AG 25)

C'est un colorant anthraquinonique acidé, on utilise dans l'industrie cosmétique et pharmaceutiques. Se retrouve dans les déchets liquides, ce qui pose des problèmes environnementaux évidents (17).



**Figure 3:** La structure de l'acide vert.

**Tableau 2:** Les caractéristiques de l'acide vert (18).

<b>Nom technique</b>	Acide green 25, Ag25
<b>Nom scientifique</b>	66'-(1,4-anthraquinonylenemino)
<b>Formule chimique</b>	C <sub>28</sub> H <sub>22</sub> N <sub>2</sub> O <sub>8</sub> S <sub>2</sub> 2Na
<b>Masse molaire (g/mol)</b>	622.58 ± 0,022
<b>Longueur d'onde maximale (nm)</b>	643
<b>Solubilité dans l'eau (g/l)</b>	28

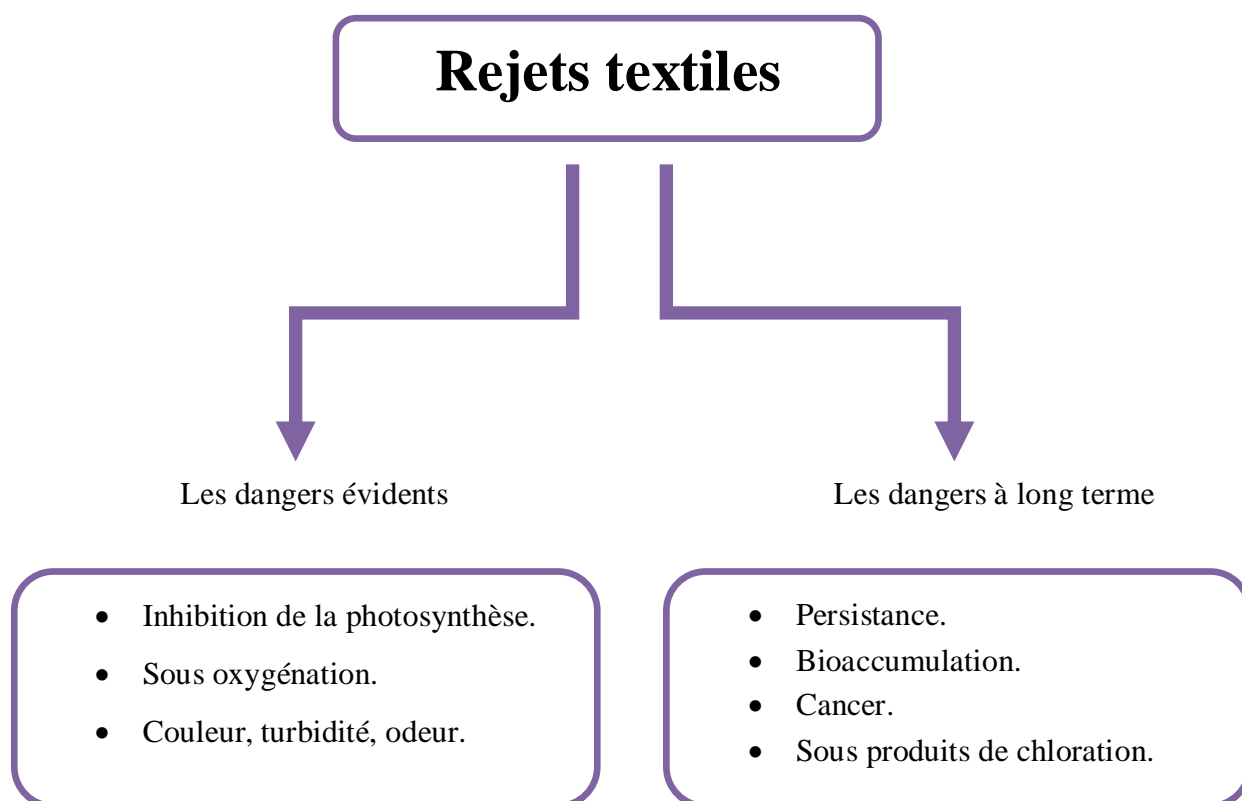
### 6 La toxicité du colorant

La toxicité des colorants est due à leur composition chimique, qui varie d'un type à l'autre, et à leur mode d'utilisation, inconnu des chercheurs et des utilisateurs (19),(20).

De nombreuses études ont montré les effets toxiques et/ou cancérigènes des colorants azoïques, ce qui implique que les effluents contenant ces colorants doivent être traités avant d'être rejetés dans le milieu naturel. Leur toxicité est en fait due au fait qu'ils contiennent des aromatiques, des phtalates, des cyanures, des sels de baryum et du plomb, tous cancérigènes.

Ces derniers altèrent le code génétique, entraînant des mutations et des risques de cancer, en attaquant les bases pyrimidiques de l'ADN et de l'ARN (21).

On a un exemple des rejets textiles



**Figure 4:** Les dangers des rejets de textiles (21).

### 7 Définition de l'adsorption

L'une des technologies la plus nécessaire et plus utilisée dans la dépollution et la purification dans plusieurs domaines comme l'industrie pétrolière, les applications pharmaceutiques et environnementales ... c'est le procédé d'adsorption (22).

L'adsorption est un procédé physique et chimique de surface se produit à l'interface adsorbant/adsorbant, les molécules d'un effluent liquide ou gazeux sont liées à la surface d'un solide. Ce phénomène se produit assez rapidement par équilibre entre l'adsorbant et la matière restante dans la solution. La concentration du soluté et la surface de l'absorbant sont la base de l'équilibre. Ceci s'applique à tous les solutés, qu'ils soient ionisés ou non, et à toutes les surfaces solides. Grâce à la diffusion moléculaire dans les pores, la surface d'adsorbant est toujours accessible (23).

### 8 Le principe de l'adsorption

Le principe de ce procédé c'est l'accroche des molécules à la surface d'un solide. Après la dispersion de molécules indésirables du fluide dans un solvant, ce phénomène est utilisé pour les récupérer. La liaison se produit lorsque (des liaisons de Van Der Waals ou liaisons chimiques) se forment entre les solides et les molécules. (Liaisons électrostatiques de faible

intensité avec des énergies entre 5 et 40 kJ/mol et liaison chimique de forte intensité avec des énergies supérieures à 80 kJ/mol) (24).

### **9 Les différents types d'adsorption**

Il y a deux types d'adsorption :

- Adsorption chimique.
- Physiosorption.

#### **9.1 Adsorption chimique (ou chimisorption)**

Chimisorption est une réaction irréversible entraîne une modification des molécules adsorbées (25). C'est un phénomène d'adsorption impliquant une ou plusieurs liaisons chimiques covalentes ou ioniques entre l'adsorbant et la substance adsorbée. Ces molécules ne peuvent pas s'accumuler sur plus d'une monocouche. Ce type d'adsorption permet aux molécules de se lier directement au solide (26).

#### **9.2 Adsorption physique (ou physiosorption)**

L'adsorption physique c'est le contraire de l'adsorption chimique, est se produit à basses températures avec des chaleurs d'adsorption souvent inférieures à 20 kcal/mol. Les molécules sont adsorbées dans plusieurs couches (multicouches) (26). Par les forces électrostatiques telles que les dipôles, la liaison hydrogène ou les interactions de Van der Waals assurant les interactions entre les molécules du soluté (adsorbat) et la surface solide (adsorbant) (27).

## Chapitre I : Synthèse bibliographique

**Tableau 3:** La différence entre les deux types d'adsorption (28).

Propriétés	Adsorption physique	Adsorption chimique
Liaisons	Vander Waals ou pont d'hydrogène	Covalente ou ionique
Recouvrement	Monocouche ou multicouches	Monocouche seulement
Chaleur d'adsorption	Basse	Elevée
Température du processus	Basse	En générale, haute température
Cinétique	Très rapide	Très lente
Réversibilité	Très réversible	Souvent irréversible
Processus de désorption	Facile	Difficile

### 10 Facteurs Influençant l'adsorption

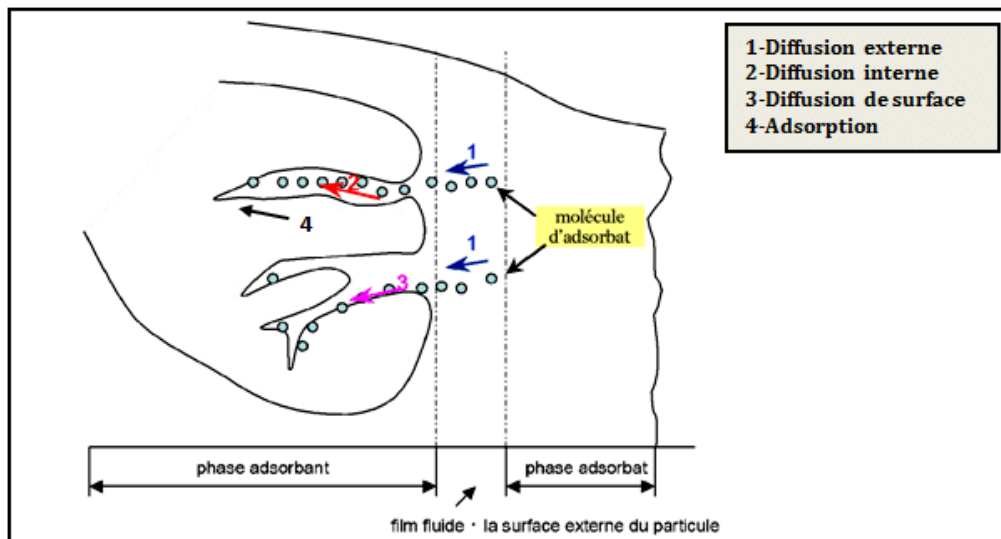
Les facteurs les plus importants de l'équilibre d'adsorption entre l'adsorbant et l'adsorbant :

- **pH :** Selon la règle de Traube, le rendement d'adsorption des polluants contenus dans les solutions aqueuses est accru par l'optimisation des paramètres analytiques, en particulier le pH (29).
- **Température de la solution :** la physiosorption est exothermique .À mesure que la température augmente, l'adsorption diminue, de sorte que les résultats sont meilleurs lorsque la température est plus basse. Par contre la l'adsorption chimique est endothermique (30).
- **La surface spécifique :** est une mesure de base de la capacité de sorption d'un adsorbant, et est plus grande si l'adsorbant est plus fractionné (31).
- **La solubilité :** Selon les chercheurs, lorsque la solubilité d'un composé diminue, les constantes d'adsorption ont tendance à être plus grandes (32).
- **La nature de l'adsorbat:** Lorsqu'il y a d'abord une affinité entre le solide et le soluté, il y a une bonne adsorption. En règle générale, les solides polaires favorisent l'adsorption des corps polaires. En revanche, les solides non polaires favorisent l'adsorption de substances non polaires, et l'affinité pour le substrat augmente avec la masse moléculaire des adsorbats (33).

- **La nature de l'adsorbant** : La diminution de la taille des particules de l'adsorbant augment l'adsorption. Cela permet aux composés en solution de pénétrer dans les capillaires du matériau, de sorte que la subdivision de la particule solide a un effet direct sur ses pores et sur la surface spécifique à développer. L'adsorption ne se produit pas pour les composés, même si la surface de l'adsorbant a une grande affinité pour eux, même si les dimensions des pores sont inférieures aux diamètres des molécules de l'un des composants de la solution (34), (35).

### 11 Mécanisme d'adsorption

L'adsorption de molécules d'un soluté initial présent en solution sur des adsorbants solides poreux est décrite en fonction du temps en quatre étapes.



**Figure 5:** Mécanisme du transfert d'un adsorbant vers le site d'adsorption (36).

1. La substance est transportée par diffusion du soluté de la phase liquide extérieure à la phase liquide à proximité immédiate de la surface adsorbante.
2. Le soluté est transporté à la surface par une couche de liquide attachée à la particule solide (grains de l'extérieur).
3. Transport de matière dans la structure poreuse de la surface extérieure des grains aux sites actifs.
4. Dans les sites actifs, il y a une réaction d'adsorption, une fois adsorbée, la molécule est considérée comme immobile (37).

## 12 Isothermes d'adsorption

Une isotherme d'adsorption est la courbe qui montre la relation entre la quantité de soluté adsorbé par une substance et sa concentration, et qui peut être utilisées pour caractériser le processus d'adsorption (38). La quantité de soluté adsorbé est calculée à l'aide de l'équation :

$$\text{Équation 12 : } q_e = (m/V) \cdot (C_0 - C_e) + Q_0$$

$V$  : Volume de solution (ml).

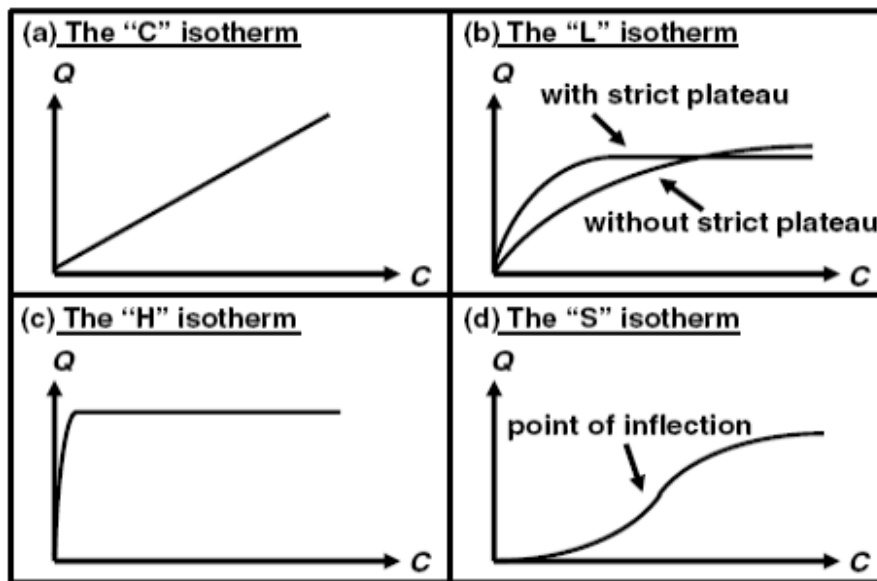
$m$  : Masse de solide adsorbant (g).

$C_0$  : Concentration initiale en soluté en phase liquide ou gazeuse (mg/l).

$Q_0$  : Masse en soluté initialement présente sur le solide (généralement nulle ou négligeable) (mg/g).

## 13 Classification des isothermes d'adsorption

Expérimentalement, on peut distinguer quatre catégories principales : S (sigmoïde), L (Langmuir), H (haute affinité) et C (partition constante), montre la forme de chaque type d'isotherme.



**Figure 6:** Classification des isothermes d'adsorption (39).

## 14 Modélisation des isothermes :

Les modèles les plus utilisées pour expliquer les phénomènes d'adsorption sont :

### 14.1 Modèle de Langmuir :

En 1918, Langmuir a proposé un modèle dans lequel la surface solide est uniforme et les sites ont la même affinité pour les impuretés en solution, la chaleur d'adsorption est indépendante du taux de couverture de la surface solide, l'adsorption est localisée et ne conduit qu'à la formation d'une monocouche - il y a un équilibre entre les molécules des deux phases. L'équation isotherme de Langmuir est la suivante :

$$\text{Équation 13: } q_e = (q_m.k_L.C_e) / (1 + C_e.k_L)$$

$q_e$ : La quantité de soluté adsorbée par unité de masse de l'adsorbant à l'équilibre (mg/g).

$q_m$ : La capacité maximale d'adsorption (mg/g).

$k_L$ : Constante d'équilibre de Langmuir (l/mg).

$C_e$ : La concentration du soluté dans la phase liquide à l'équilibre (mg/l).

La forme linéaire de cette équation s'écrit comme suit:

$$\text{Équation 14: } C_e/q_e = 1/(C_e.k_L.q_m) + 1/q_m$$

En traçant la droite  $\frac{1}{q_e} = f\left(\frac{1}{C_e}\right)$  et on détermine la valeur de la capacité maximale (40).

### 14.2 Modèle de Freundlich :

En 1962, Freundlich a développé un modèle décrivant l'adsorption dans les milieux liquides ou gazeux avec une surface d'adsorption hétérogène qui est largement utilisé pour la représentation expérimentale de l'équilibre d'adsorption. L'isotherme prend la forme :

$$\text{Équation 15: } q_e = k_F . C_e^{(1/n)}$$

$q_e$ : Quantité d'acide adsorbée par l'adsorbant à l'équilibre (mg/g).

$C_e$  : Concentration d'acide dans la solution à l'équilibre (mg/l).

$k_F$  et  $n$  : Paramètres de Freundlich, constantes positives dépendant de la nature de système adsorbant-adsorbat et de la température.

La forme linéaire de cette équation s'écrit comme suit:

$$\text{Équation 16: } \ln q_e = \ln k_F + 1/n . \ln C_e$$

En traçant la droite  $\ln q_e = f \ln C_e$ . En déterminant la valeur de  $k_F$  et de  $n$  (41).

### 14.3 Modèle de Temkin :

Ce modèle suppose que la chaleur d'adsorption diminue linéairement avec l'augmentation de la couverture de la surface solide, avec des irrégularités de surface et une occupation préférentielle des sites les plus adsorbés. L'isotherme de Temkin prend la forme :

$$\text{Équation 17: } q_e = (RT/b) \cdot \ln(A \cdot C_e)$$

La forme linéaire de cette équation s'écrit comme suit:

$$\text{Équation 18: } q_e = B \ln A + B \ln C_e$$

Avec :

$$B = \frac{RT}{b} \quad \text{et} \quad b = \frac{\Delta Q}{q_m}$$

$A$  : la constante de Temkin (l/mg).

$\Delta Q$  : Variation d'énergie d'adsorption (J/mol).

$T$  : est la température (K)

$R$  est la constante des gaz (8,314 J /mol.K).

En traçant la droite  $q_e = f(\ln C_e)$  (42).

### 15 Définition De Biosorption

C'est l'utilisation de matériaux biologiques pour stabiliser les contaminants par adsorption. Elle est proposée comme alternative ou complément aux méthodes traditionnelles et généralement coûteuses utilisées pour traiter les effluents contenant des colorants (43).

### 16 Définition des biosorbants

Les biosorbants sont des squelettes organiques, principalement des polysaccharides, dont la formule générale est  $C_x(H_2O)_y$ . Les biosorbants sont généralement disponibles dans les exploitations agricoles et les installations industrielles, en particulier dans les secteurs de l'agroalimentaire, du bois et de la pêche (44).

Leur utilisation vise à ajouter de la valeur et à éviter tout impact négatif potentiel sur l'environnement et la santé (45).

### 17 Classification des biosorbants

Les biosorbants peuvent être regroupés en deux catégories :

- Les biosorbants d'origine aquatique
- Les biosorbants issus du secteur agro-industriel.

## **17.1 Les biosorbants d'origine aquatiques**

Les biosorbants d'origine aquatique se réfèrent à la biomasse constituée d'espèces animales et végétales. La biomasse, qu'elle soit vivante ou morte, a de très bonnes capacités de sorption, notamment en raison de ses propriétés physiques et chimiques. Toutefois, la biomasse morte est privilégiée (46).

## **17.2 Les biosorbants d'origine agro-industrielles**

Cette catégorie comprend les matières d'origine végétale provenant du secteur agricole ou industriel. Grâce aux groupes polyhydroxypolyphénols, ces matériaux sont très efficaces pour retenir les polluants en raison de leur teneur élevée en tanins. Il n'y a pas de distinction stricte entre les biosorbants agricoles et industriels (46).

## **18 La régénération des biosorbants**

C'est le processus par lequel les matériaux utilisés pour adsorber les contaminants sont traités afin de récupérer leur capacité d'adsorption après qu'ils ont été saturés par les contaminants. Habituellement, ce processus implique la décomposition des contaminants du matériau biosorbant, ce qui permet de le réutiliser (47).

## **19 Les méthodes de la régénération**

Il Ya plusieurs méthodes de régénération, notamment :

### **19.1 La régénération par les solvants**

La régénération par solvants consiste à extraire spécifiquement une substance d'une solution en utilisant un solvant approprié, puis à la purifier pour isoler la substance récupérée. On retrouve cette technique dans de nombreux domaines, tels que la chimie des procédés, l'ingénierie chimique et le traitement des eaux usées (48).

### **19.2 Régénération thermique**

Cette méthode est souvent utilisée avec des biosorbants tels que le charbon actif. La régénération thermique des biosorbants implique l'utilisation de la chaleur pour éliminer les contaminants d'adsorbant (49).

### **19.3 Régénération chimique**

La régénération chimique des biosorbants implique l'utilisation d'agents chimiques pour désorber les contaminants du sorbant. Les agents chimiques peuvent se présenter sous la

forme d'acides, de bases ou d'autres réactifs spécifiques, en fonction des contaminants et du biosorbant utilisés (50).

### **20 Régénération biologique**

La régénération biologique des biosorbants implique l'utilisation de micro-organismes ou d'enzymes pour dégrader ou métaboliser les contaminants adsorbés, ce qui permet de réutiliser le matériau adsorbé (51).

#### **20.1 Régénération électrique**

La régénération électrique des biosorbants utilise un champ électrique pour faciliter la désorption des contaminants du matériau adsorbant. L'application d'une tension électrique aux électrodes immergées dans la solution contenant le biosorbant permet de réaliser ce processus (52).

#### **20.2 Régénération par traitement photochimique**

Les biosorbants se régénèrent par traitement photochimique en utilisant la lumière UV ou d'autres sources de lumière, en combinaison avec des agents chimiques, pour éliminer les substances nocives du matériau adsorbant. La désorption des contaminants est rendue plus facile grâce aux réactions photochimiques (53).

## **21 Les avantages de la régénération**

- **Durabilité environnementale**

En utilisant des biosorbants, on peut réduire la quantité de déchets générés par l'utilisation de matériaux adsorbants, ce qui a un impact positif sur la durabilité environnementale (47).

- **Réduction des coûts**

La régénération des biosorbants peut être plus rentable que le remplacement des matériaux adsorbants saturés, ce qui permet des économies importantes sur le long terme](50).

- **Utilisation de ressources renouvelables**

La régénération des biosorbants peut impliquer l'utilisation de ressources renouvelables, comme des micro-organismes ou des enzymes, ce qui favorise une utilisation plus durable des ressources (51).

### **22 Les inconvénients de la régénération**

- **Énergie requise**

Certains processus de régénération, tels que la régénération thermique, peuvent nécessiter une consommation d'énergie supplémentaire, ce qui peut entraîner des coûts opérationnels plus élevés (52).

- **Produits chimiques dangereux**

Les produits chimiques dangereux utilisés pour la régénération chimique des biosorbants peuvent poser des risques pour la santé humaine et l'environnement(53).

- **Perte d'efficacité**

La diminution de l'efficacité du biosorbant peut être provoquée par certains processus de régénération, ce qui peut entraîner des cycles de régénération plus fréquents ou une diminution de la durée de vie du matériau (54).

# **Partie expérimentale**

# **Chapitre II**

## **Matériels et méthodes**

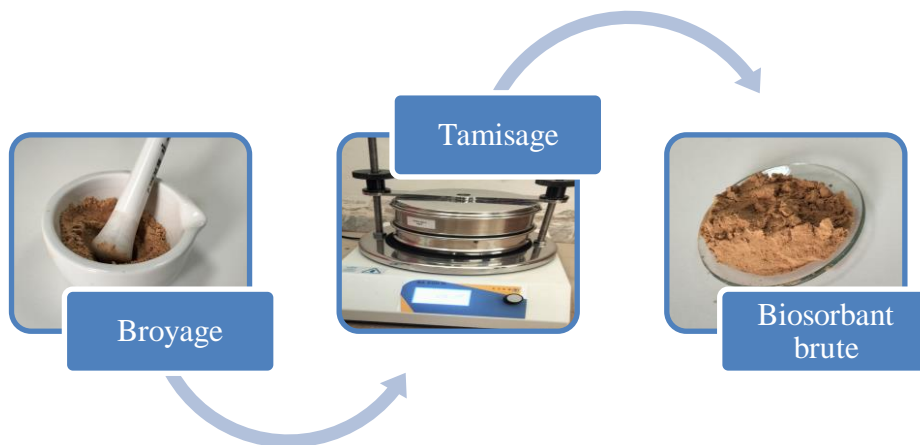
## Chapitre II : Matériels et méthodes

Ce chapitre décrit toutes les expériences menées et les méthodes expérimentales utilisées. L'accent est mis sur la régénération d'un biosorbant d'origine agricole. Il commence par une présentation des produits chimiques et du dispositif expérimental utilisé. Il décrit ensuite les techniques analytiques et les méthodes de caractérisation utilisées.

Le but de ce travail est une étude expérimentale de la régénération d'un biosorbant saturé pour l'élimination de deux colorants cationiques et anioniques, le BM et l'AG25, respectivement, de solutions aqueuses. Des conditions opératoires spécifiques étudiées ultérieurement ont fait l'objet de notre étude (temps de contact optimal, masse optimale de biosorbant, et volume de colorant optimal).

### 1 Préparation du biosorbants

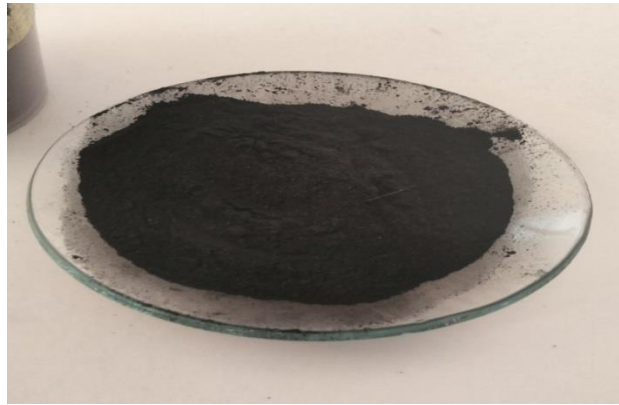
Les déchets sont lavés à l'eau du robinet plusieurs fois, puis à l'eau distillée avant de les sécher dans l'étuve à 105 °C pendant 24 heures. Et enfin broyés et tamisés (tamis à mailles (200 µm)) pour obtenir une poudre fine (**biosorbant brute : AB**).



**Figure 7:** Schéma de la préparation du biosorbant AB.

### 2 Activation thermique du biosorbant (AT)

Placer une quantité de déchet dans un creuset à  $T = 400^{\circ}\text{C}$  dans un four à moufle pendant 1 heure, puis broyer et tamiser (200 µm).



**Figure 8:** Biosorbant avec une activation thermique AT.

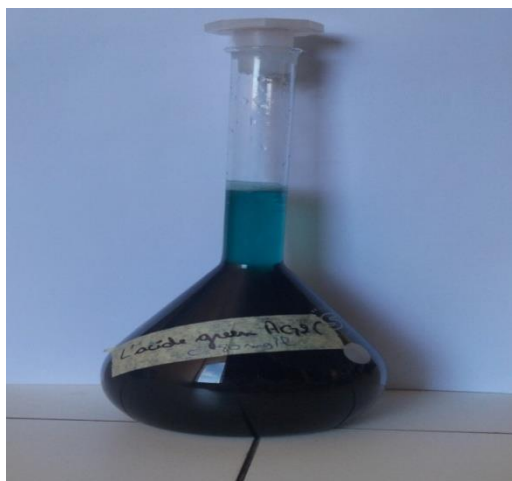
### 3 Préparation des solutions

#### 3.1 Préparation de la solution de BM

Une solution mère a été préparée en pesant 40 mg de colorant BM et en le dissolvant dans une fiole de 0,5 litre, puis en complétant le volume avec de l'eau distillée. Après agitation, le mélange est homogénéisé et la concentration correspondante est de 80 mg/l. Stockée la solution à l'abri de la lumière.

#### 3.2 Préparation de la solution d'AG25

La solution mère d'AG25 de concentration 80 mg/l a été préparée par la dissolution de 40 mg de colorant dans une fiole de 0,5 litre, puis en complétant le volume avec de l'eau distillée. La solution stockée à l'abri de la lumière.



**Figure 9:** Solution mère d'AG25.

### 3.3 Préparation de la solution d' HCl

Une solution d'HCl a été préparée dans une fiole de 1 litre, puis en complétant le volume avec l'eau distillée et le mélanger bien.

### 3.4 Préparation de la solution de NaOH

Pour la préparation de 1000 ml de la solution Hydroxyde de sodium de concentration de 0,1 M dans une fiole a jagée qui contient un petite volume d'eau distillée après en complétant jusqu'a le trait de jaugée.



**Figure 10:** Solutions mères du NaOH et HCl.

## 4 Spectrométrie infrarouge à transformée de Fourier ( FTIR )

C'est une méthode d'analyse non destructive, basée sur l'étude de l'absorption par l'échantillon des radiations électromagnétiques dans la région infrarouge. La partie la plus riche en informations et la plus accessible du point de vue expérimental est celle du moyen infrarouge ( $\lambda$  comprise entre 2,5 et 25  $\mu\text{m}$  soit  $\nu$  compris entre 0,04 et 0,4 $\text{cm}^{-1}$ ). Les absorptions dans ce domaine forment une sorte d'empreinte digitale des composés caractéristiques des liaisons inter atomiques qui le composent, l'absorption de la lumière a pour origine l'interaction entre les radiations de la source lumineuse et les liaisons chimiques .Ces absorptions provoquent des vibrations et des rotations moléculaires. Les vibrations sont essentiellement localisées dans les groupements fonctionnels qui peuvent ainsi être identifiés par leur bande d'absorption (55).

### Les comportements de l'appareille

IRTF comportent quatre éléments Principaux :

- Une source de rayonnement.
- Un dispositif permettant de séparer les longueurs d'onde.
- Un module d'analyse.
- Un ou plusieurs capteurs photosensibles

IRTF est couplé à différents modules :

- Un compartiment échantillon qui peut recevoir des accessoires.
- Un ordinateur, en interface avec le spectromètre IRTF, permet la commande des mesures et le traitement numériques des spectres.

Le spectromètre IRTF utilisé pour cette étude est de marque **SHIMADZU IRPrestige-21**.

### 5 Analyse par spectrophotométrie UV-visible

#### La spectrophotométrie

La spectrophotométrie est une méthode analytique quantitative qui consiste à mesurer l'absorbance ou la densité optique d'une substance chimique donnée en solution. Plus cette espèce est concentrée plus elle absorbe la lumière dans les limites de la proportionnalité énoncées par la loi de **Béer-Lambert** (56).

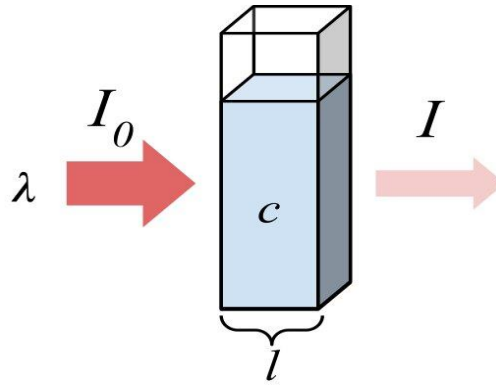
Pour procéder à un dosage par spectrophotométrie, nous utilisons un appareil spécial, le spectrophotomètre qui est capable d'évaluer le spectre d'absorbance d'une solution. Le principe de la spectrophotométrie est simple : l'appareil réalise une mesure de l'intensité de la lumière qu'il reçoit, une fois celle-ci passée à travers un récipient transparent (cuvette dont la matière doit être adaptée à la longueur d'onde), contenant la solution à étudier.

À partir de l'intensité de la lumière qui est émise (notée  $I_0$ ) et d'après la mesure de l'intensité de la lumière transmise ( $I$ ), l'appareil calcule l'absorbance ( $A$ ). La formule algébrique de cette opération est :

$$\text{Équation 19: } A = \log I_0/I$$

Un spectrophotomètre est un appareil qui permet de mesurer l'absorbance d'une solution à une certaine longueur d'onde ou dans une région spécifique du spectre.

La détermination de la concentration des colorants est effectuée par dosage spectrophotométrique, en utilisant la loi de **Béer-Lambert**.



**Figure 11:** Principe de la loi de Béer Lambert.

La loi de Béer-Lambert s'exprime sous la forme suivante :

$$\textit{équation 20: } A = \epsilon l C$$

$A$  : l'absorbance.

$\epsilon$  : Coefficient d'absorption molaire (l/mol.cm).

$l$  : L'épaisseur de la solution traversée ou trajet optique (cm).

$C$  : La concentration molaire de l'échantillon dans la solution (mol/l).

$T$  : Facteur de transmission ou transmittance.

$I$  : Intensité du faisceau émergent.

Le spectrophotomètre UV-Visible utilisée pour cette étude est **OPTIZEN 2120UV** au laboratoire de FSEI de l'université de Mostaganem.

### 6 Etablissement de la courbe d'étalonnage

Pour tracer la courbe d'étalonnage des colorants **BM** et **AG25**, nous avons déterminé les valeurs de l'absorbance correspondant aux différentes concentrations des solutions des colorants.

Nous avons utilisés une méthode qui consiste à préparer d'abord une solution mère de chaque colorant a une concentration , à partir de solution mère, nous préparons par dilutions successives une série des solutions étalons (filles),

Celles-ci sont, par la suite, analysées par spectrophotomètre à une longueur d'onde de **665 nm** pour **BM** et **643 nm** pour **AG25**.

Nous établissons la droite d'étalonnage représentant l'absorbance en fonction de la concentration du colorant ( $A = f(C)$ ) et que obéit à la relation de *Béer-Lambert*.

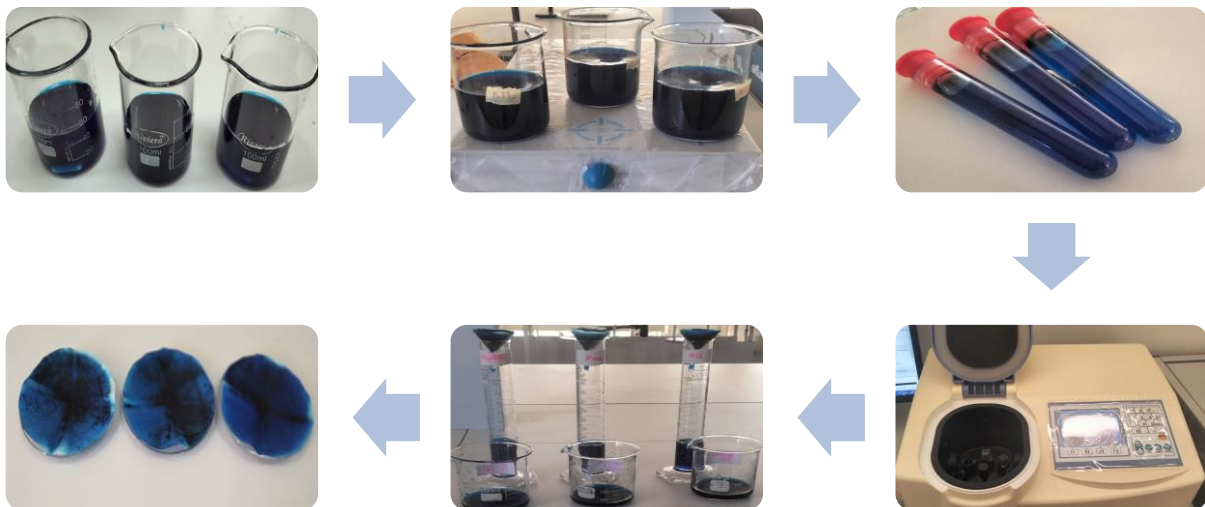
### 7 Etude de la régénération

Pour effectuées cette étude on commence par l'adsorption de nos deux polluants par notre biosorbant

#### 7.1 Adsorption de BM par le biosorbant

Nous avons préparé trois béchers contenant chacun 150 ml de solution de colorant bleu de méthylène BM, ajouté une masse d'AB = 150 mg dans chacun, agité les béchers pendant 20 minutes à 700 rpm, la suspension a été centrifugée à 5000 rpm pendant 10 minutes et ensuite analysée à une longueur d'onde de  $\lambda = 665$  nm dans un spectrophotomètre UV-visible. Chaque solution a ensuite été filtrée et placée dans l'étuve pour sécher à 80°C pendant 24 heures.

Nous faisons les mêmes étapes précédentes avec l'AT (biosorbant traite thermiquement), en changeant seulement le temps d'agitation à 10 minutes.



**Figure 12:** Schéma du test d'adsorption d'AT avec BM.

#### 7.2 Adsorption de colorant AG25 par le biosorbant

Nous avons préparé trois béchers contenant chacun 150 ml de solution de colorant AG 25, ajouté une masse d'AB = 150 mg, agité pendant 10 minutes à 700 rpm, la suspension a été centrifugée à 5000 rpm pendant 10 minutes et ensuite analysée à une longueur d'onde de  $\lambda = 643$  nm dans un spectrophotomètre UV-visible. Chaque solution a ensuite été filtrée et placée dans l'étuve pour sécher à 80°C pendant 24 heures.

Nous faisons les mêmes étapes précédentes avec l'AT, en changeant seulement le temps d'agitation à 3 minutes

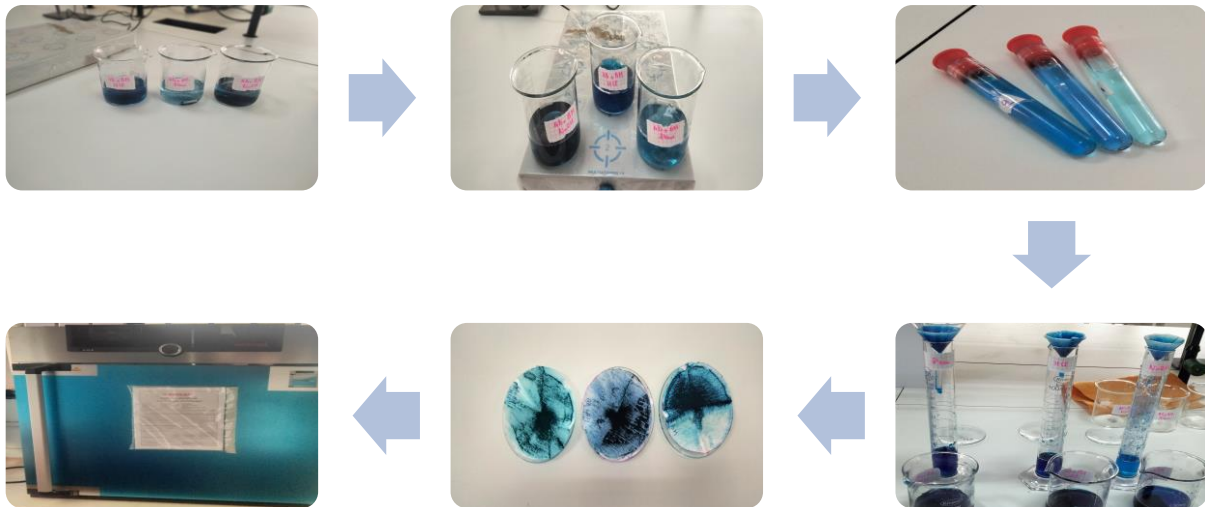
### 8 Etude de la désorption des colorants du biosorbant

Pour effectuée la désorption on a utilisée trois milieu un acide (HCl) et un basique(NaOH) et l'eau qui est neutre afin de suivre le quelle des solvants est plus efficace pour désorber notre matériaux.

#### 8.1 Désorption dans le colorant BM

Après séchage du filtrat (biosorbant + colorant). On dissous chaque échantillon dans un solvant : l'eau / solution d'HCl / solution de NaOH Si nous obtenant une absorbance plus que 1, on réalisant des dilutions. Chaque solution est filtrée et placée dans l'étuve pour sécher à 80°C pendant 24 heures.

Après cette étape, on fait une désorption plusieurs fois jusqu'à atteindre le point de désaturation du biosorbant, ce qui nous donne le nombre de cycles de la régénération de ce dernier.



**Figure 13:** Schéma du test de désorption d'AT avec BM.

#### 8.2 Désorption dans le colorant AG25

D'après le séchage du filtrat (biosorbant + colorant), on met le test de désorption. On dissous chaque échantillon dans un solvant : l'eau / solution d'HCl / solution de NaOH pour les deux biosorbants à une longueur d'onde de  $\lambda = 643$  nm dans un spectrophotomètre UV-visible tout les échantillons . Si on obtient une absorbance plus que 1, on réalisant des dilutions. Chaque solution a ensuite été filtrée et placée dans l'étuve pour sécher à 80°C pendant 24 heures.

## Chapitre II : Matériels et méthodes

---

Après cette étape, on fait une désorption plusieurs fois jusqu'à atteindre le point de désaturation du biosorbant, ce qui nous donne le nombre de cycles de la régénération de ce dernier.

# **Chapitre III**

## **Résultats et discussions**

## Chapitre III : Résultats et discussions

Dans ce chapitre, tous les résultats expérimentaux obtenus sont présentés et discutés. En effet, comme mentionné auparavant, le programme expérimental réalisé a considéré l'étude de la désorption de bleu méthylène (BM) et l'acide vert (AG25) (colorants) comme polluants organiques, sur les biosorbant AB et AT comme matériau adsorbant naturel.

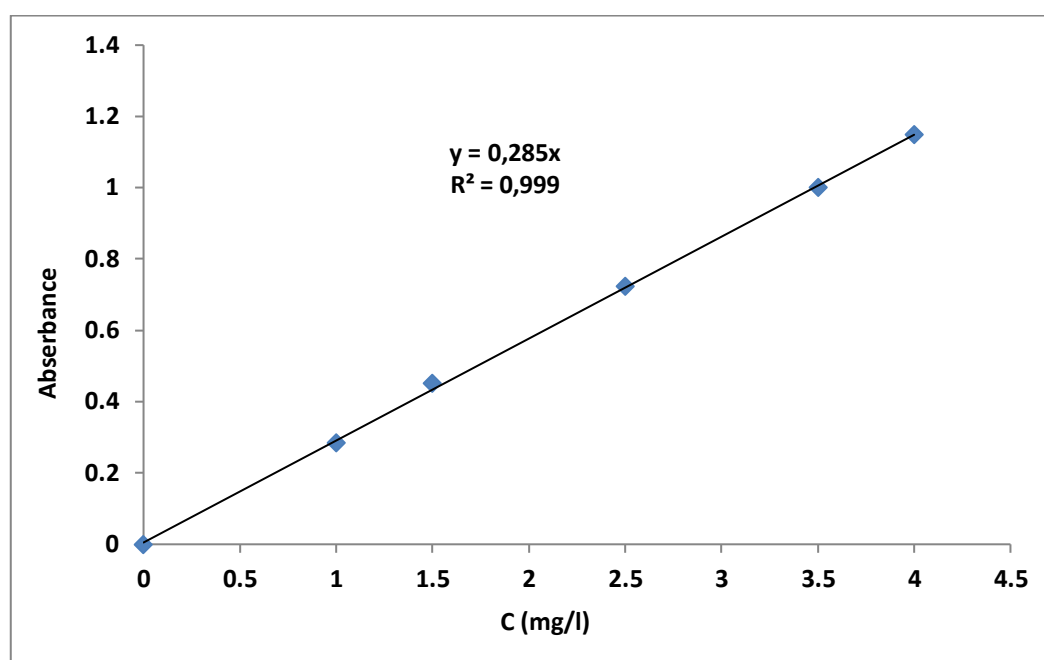
Ce travail est réalisé au laboratoire pédagogique de la faculté des sciences exactes et de l'informatique l'université ABDELHAMID IBN BADIS à MOSTAGANEM.

### 1 Courbes d'étalonnage des solutions

Pour tracer la courbe d'étalonnage des colorants **BM** et **AG25**, nous préparons par dilutions successives une série des solutions filles,

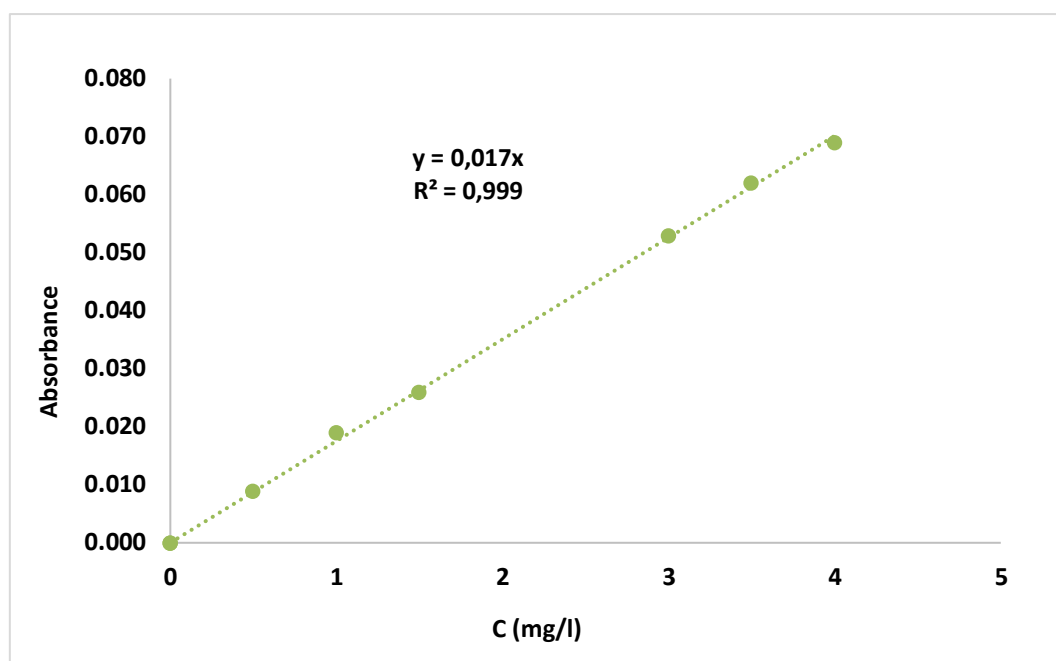
Nous traçons la droite d'étalonnage représentant l'absorbance en fonction de la concentration du colorant ( $A = f(C)$ ) et que obéit à la relation de *Béer-Lambert*.

La figure 14 représente Courbe d'étalonnage de BM.



**Figure 14:** Courbe d'étalonnage de BM 80mg/l à  $\lambda = 665$ (nm).

La figure 15 représente la Courbe d'étalonnage de l'AG25



**Figure 15:** Courbe d'étalonnage de l'AG25 80 mg/l à  $\lambda = 643(\text{nm})$ .

L'équation de la droite donnant ( $A = f(C)$ ) du **BM** est :  $\text{Abs} = 0,285xC$ , et du **AG25** est :  $\text{Abs} = 0,017xC$ , les deux avec un coefficient de régression  $R^2 = 0,999$ , ce qui peut être considéré comme un bon ajustement linéaire.

Ces équations sont utilisées dans le calcul de la concentration à l'équilibre ( $C_e$ ) d'une solution donnée et le taux de désorption.

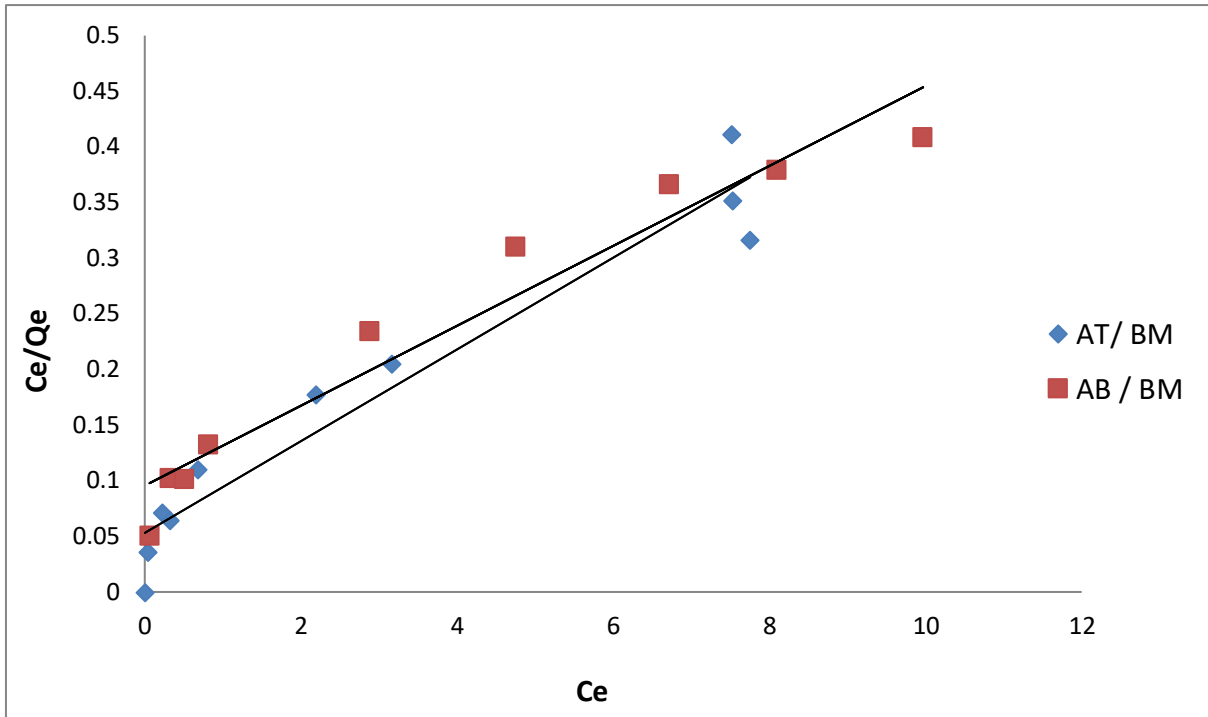
## 2 Les isothermes de l'adsorption

L'isotherme d'adsorption relie la capacité d'adsorption (masse de soluté adsorbée par unité de la masse d'adsorbant) à la concentration du soluté restant dans la solution.

La modélisation des isothermes d'adsorption des deux colorants sur les deux adsorbants par les modèles exposés dans la partie bibliographique, est représentée par les figures suivantes :

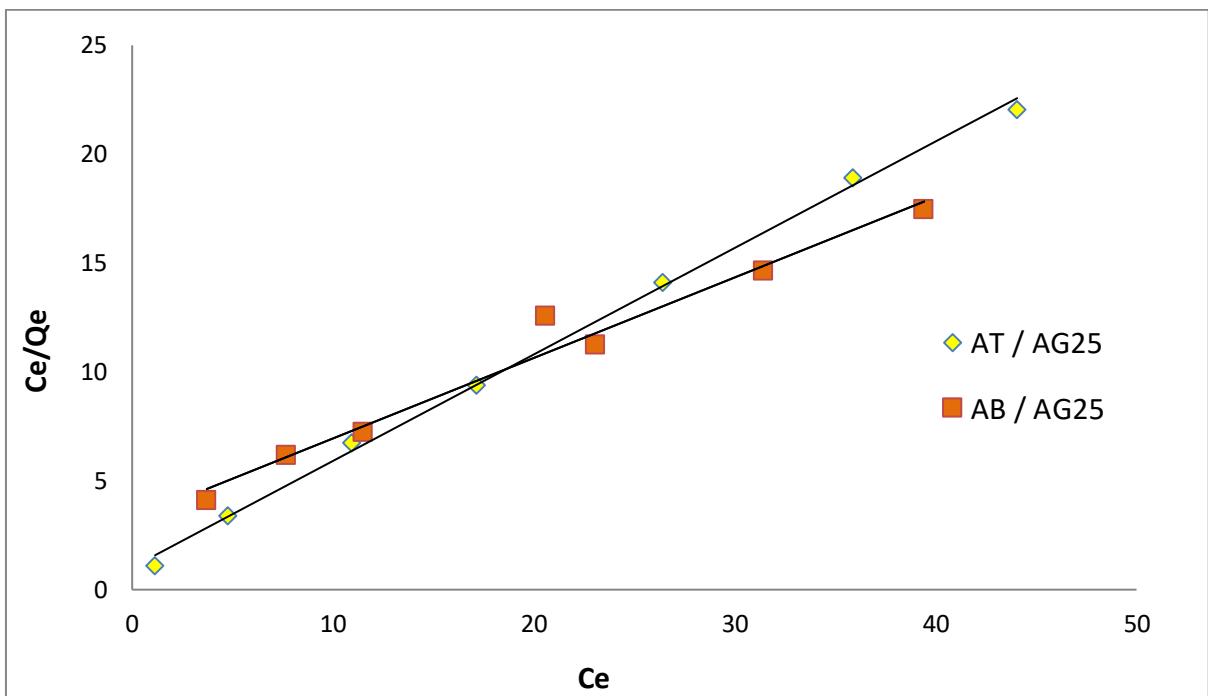
### 2.1 Isotherme de Langmuir

Le tracé de la courbe  $C_e/Q_e = f(C_e)$  permet de déterminer les valeurs de  $Q_{\text{max}}$  et  $b$ , les résultats sont représentés graphiquement dans les figures suivantes :



**Figure 16:** Isotherme de Langmuir pour l'adsorption du BM.

La modélisation des résultats expérimentaux montre une bonne concordance avec le modèle de Langmuir avec BM. En effet Les coefficients de corrélation trouvés sont tous proches de 1.



**Figure 17:** Isotherme de Langmuir pour l'adsorption de l'AG25.

La modélisation des résultats expérimentaux est en parfaite adéquation avec le modèle de Langmuir. Il est vrai que les coefficients de corrélation trouvés sont tous proches de 1.

### 2.2 Isotherme de Freundlich

Le tracé de la courbe  $\text{Ln}(Q_e) = f(\text{Ln } C_e)$  permet de déterminer les valeurs des constantes  $K_f$  et  $n$  de Freundlich comme le montre les figures.

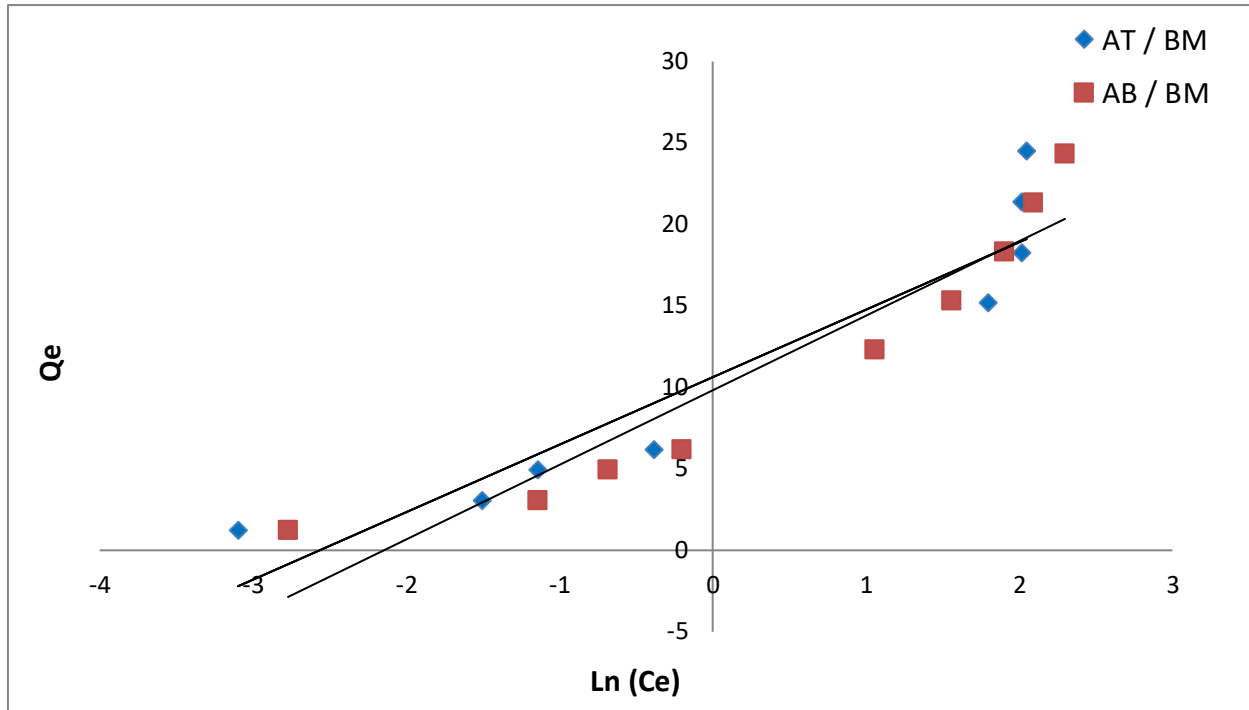
**Figure 18:** Isotherme de Freundlich pour l'adsorption de BM.

**Figure 19:** Isotherme de Freundlich pour l'adsorption de l'AG25.

D'après le modèle de Freundlich, on remarque que les valeurs de coefficient de corrélation pour les deux biosorbants avec les deux colorants indique que le procédé est compatible avec l'isotherme de Freundlich et les valeurs de  $n$  (tableau 4) sont supérieures à 1, donc le procédé favorables. Il y a lieu de noter que  $K_f$  est supérieure à 0 pou les deux premiers et le dernier ce qui montre que l'adsorbant a une grande capacité d'adsorption.

### 2.3 Isotherme de Temkin

Le tracé de la courbe  $Q_e = f(\text{Ln } C_e)$  permet de déterminer les valeurs de constantes  $K_T$  et  $B_T$  de Temkin comme le montre les figures.



**Figure 20:** Isotherme de Temkin pour l'adsorption de BM.

D'après la figure, on observe que le coefficient de détermination obtenu est important ce qui confirme que l'isotherme d'adsorption est réalisée avec succès par l'isotherme de Temkin avec BM.

**Figure 21:** Isotherme de Temkin pour l'adsorption de l'AG25.

La figure démontre un coefficient de détermination élevé, ce qui confirme que l'isotherme d'adsorption est réalisée avec succès par l'isotherme de Temkin avec BM.

L'ensemble des paramètres des isothermes tracés est regroupé dans le tableau suivant :

**Tableau 4:** Paramètres des isothermes d'adsorption du BM selon les modèles de Langmuir, Freundlich et Temkin.


--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--

### 3 Régénération du biosorbant

Ce qui rend cette étude intéressante, c'est de pouvoir valoriser notre biosorbant, dans l'adsorption des polluants, en étudiant sa régénérabilité. Pour cela, des tests répétitifs d'adsorption/désorption jusqu'à atteindre le point de saturation du biosorbant, ce qui donne le nombre de cycles de son réutilisation. La méthode appliquée consiste en l'utilisation de produits chimiques (HCl, NaOH et l'eau) et ce type de tests implique plusieurs adsorption/désorption et la mesure de l'absorbance jusqu'à la saturation du biosorbant, en mesurant le pourcentage de désorption pour le choix du meilleur solvant et pour connaître le nombre de cycles de la régénération de chaque biosorbant et de chaque colorant.

La relation suivant pour calcule le pourcentage de désorption :

$$\text{Équation 21: } \text{taux de désorption} = (Q_{\text{désorbée}}/Q_{\text{adsorbée}})$$

Avec :

$Q_{\text{désorbée}}$  : La quantité de colorant après la désorption.

$Q_{\text{adsorbée}}$  : La quantité adsorbée du colorant avant la régénération.

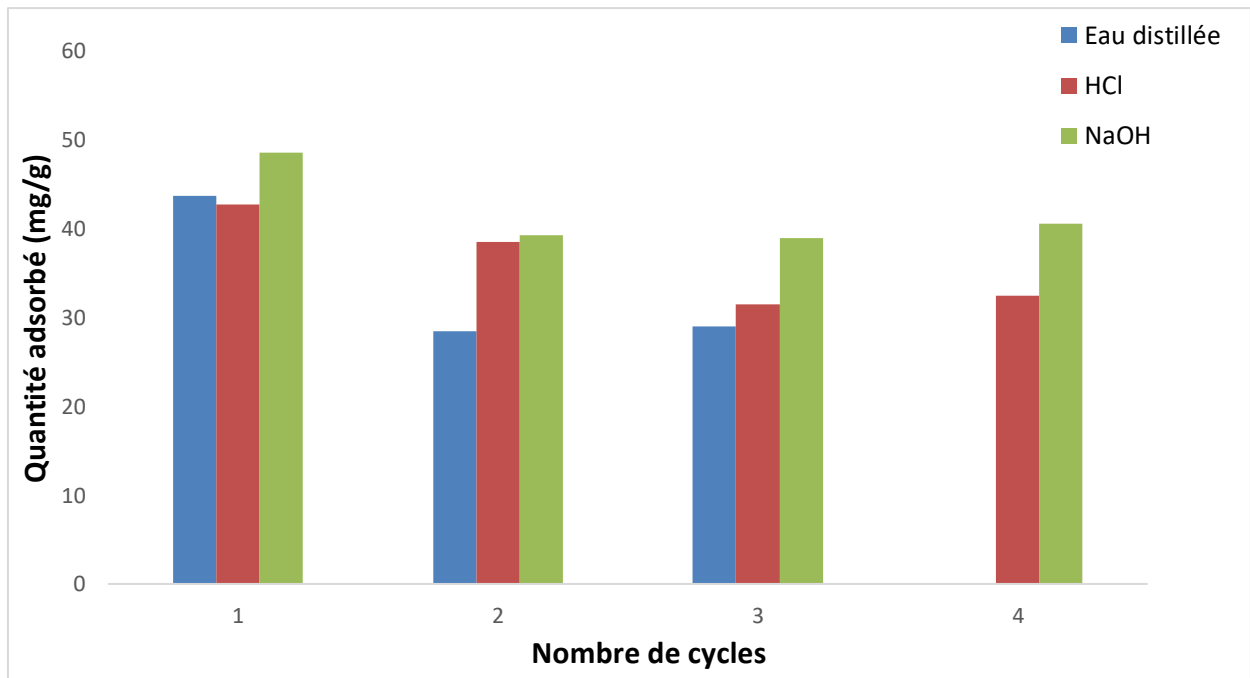
Le meilleur solvant est celui qui plusieurs nombres de cycles.

## 4 Les résultats de la régénération

### 4.1 Le bleu de méthylène

#### 4.1.1 Le biosorbant brute

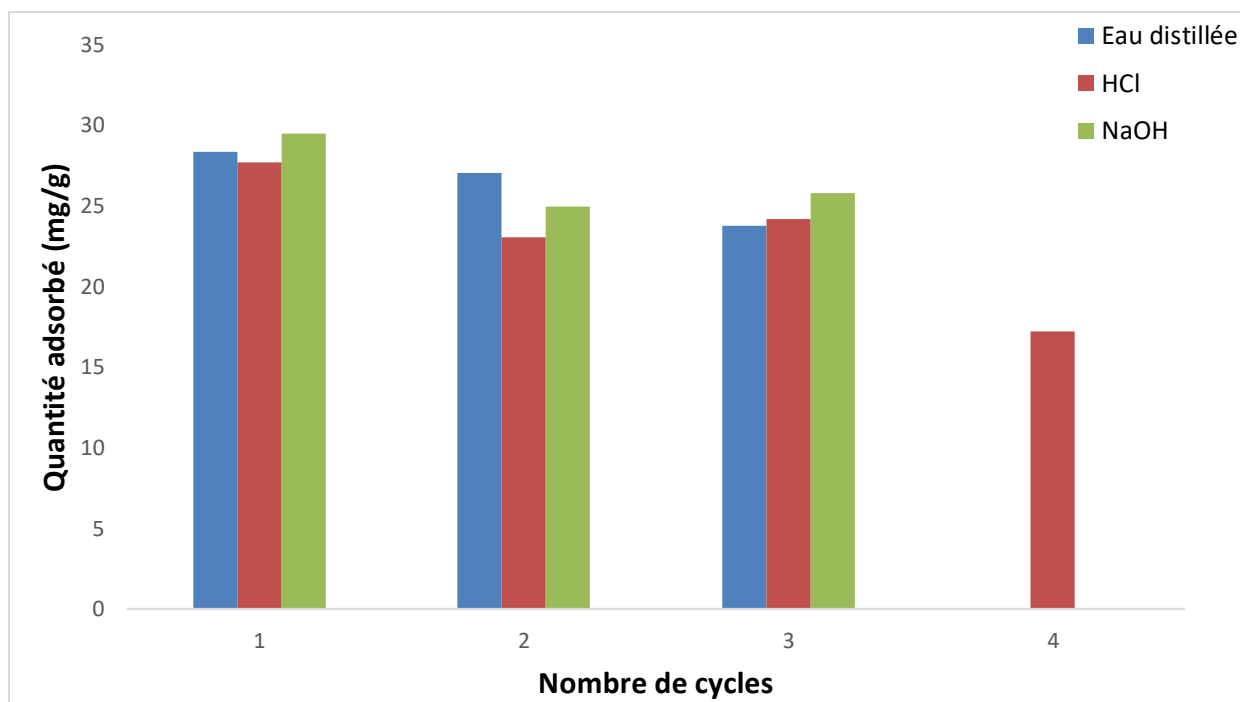
Le figure suivant présente le nombre de cycles on fonction de la quantité adsorbée (mg/g) qui mesurer a partir les valeurs d'absorbance les tests adsorption / désorption de AB dans le BM .



**Figure 22:** Histogramme de nombre de cycles de l'AB dans le BM.

Sur la figure ci-dessus, on peut constater que le nombre de cycle de réutilisation, ne dépassant pas quatre fois en milieu acide et basique, et trois fois si on travaille en plus en milieu aqueux, et on remarque que le maximum qui se situe 48 % de la quantité adsorbée. Le milieu basique semble être le plus favorable quant à la régénération du biosorbant brute.

### 4.1.2 Le biosorbant avec un traitement thermique



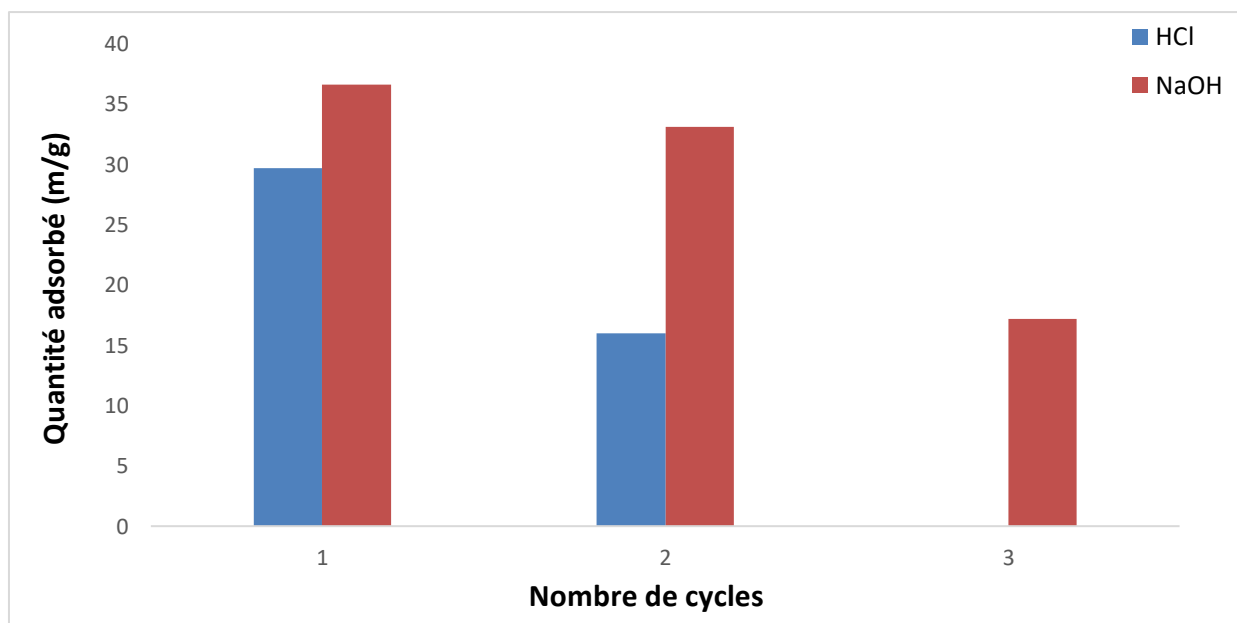
**Figure 23:** Histogramme de nombre de cycles de l'AT dans le BM.

Dans la figure ci-dessus de le nombre de cycles on fonction de la quantité adsorbée (mg/g) du AT dans BM, on peut constater que le nombre de cycle de réutilisation, ne dépassant pas les quatre fois, en milieu acide et trois fois si on travaille en plus en milieu aqueux et milieux basique, et on remarque que le maximum de réutilisation ne dépasse pas 30 % de la quantité adsorbée. Le milieu basique semble être le meilleur solvant par rapport la quantité adsorbée, et le milieu acide par rapport le nombre de cycles donc ces deux milieux favorables quant à la régénération du biosorbant avec traitement thermique.

## 4.2 L'acide green

### 4.2.1 Le biosorbant brute

La figure du nombre de cycles on fonction de la quantité adsorbée (mg/g) de AB dans AG25 .



**Figure 24:** Histogramme de nombre de cycles de l'AB dans l'AG25.

Sur le graphique ci-dessus, on peut constater que le nombre de cycle de réutilisation, ne dépassant pas les trois fois, en milieu basique et deux fois si on travaille en plus en milieu acide, et on remarque que le maximum qui se situe 37 % de la quantité adsorbée. Dans le milieu aqueux, la régénération ne se produit pas. Donc le milieu basique semble être le plus favorable par rapport la quantité adsorbée et le nombre de cycles quant à la régénération du biosorbant brute.

### 4.2.2 Le biosorbant avec une activation thermique

La figure suivante présente le nombre de cycles on fonction de la quantité adsorbée (mg/g) de AB dans AG25.

**Figure 25:** Histogramme de nombre de cycles de l'AT dans l'AG25.

On peut constater que la régénération en milieu aqueux n'a lieu qu'une seule fois, et ne dépassant pas deux fois, en milieu basique et acide, et on remarque que le maximum qui se situe 30 % de la quantité adsorbée. Le milieu acide semble être le plus favorable par rapport la quantité adsorbée et le nombre de cycles quant à la régénération du biosorbant activé thermiquement.



# Conclusion générale

---

## Conclusion

Dans le cadre de ce projet de fin d'études, j'ai étudié la régénération d'un biosorbant utilisée pour l'élimination d'un polluant de l'environnement aquatique, (le bleu de méthylène et l'acide vert) par désorption, procédé efficace de purification très utilisé pour la dépollution des eaux, en utilisant un biosorbant ce forme deux types (biosorbant brute AB et biosorbant activé thermiquement AT) pour sa grande capacité sorptionnelle due à sa structure poreuse et à sa surface spécifique

La première partie de ce travail est une synthèse bibliographique portant sur les différentes définitions et termes sur la pollution, les colorants, l'adsorption et la biosorption, ainsi que la régénération.

La partie expérimentale a porté d'une part, sur la prétraitement et la préparation des biosorbants et des solutions

Dans autre part des diverses techniques de caractérisation telle que (visible, IFTR), puis on a tracé les courbes d'étalonnage de nos colorants à une longueur d'onde de **665 nm** pour **BM** et **643 nm** pour **AG25** et modélisée par les isothermes d'adsorption Langmuir, Freundlich, et Temkin qui donne des résultats acceptables surtout le modèle de Langmuir qui décrit bien nos résultats expérimentaux

Pour la régénération on a utilisée la méthode de régénération par les solvants ( la régénération chimiques ) ( milieu aqueux ( eau distillé) , milieu aidée ( HCl) , et milieu basique(NaOH)) tous ca pour le choix du meilleur solvant

Le résultat obtenu montre que HCl est le meilleur solvant pour le charbon activée thermiquement avec les deux colorants, et NaOH pour le biosorbant brute

La régénération chimique du biosorbant est possible et dépend essentiellement du solvant employé.

Les perspectives :

- L'amélioration de ce travail peut se faire en étudiant d'autres solvants.
- Faire la régénération par différentes méthodes (régénération thermique, ultrasons, biologiques...).
- Faire les essais de désorption pour la méthode chimique en utilisant d'autres réactif

## Les références bibliographiques

1. **Tabai A, Bechiri O, Ferdenache H.** *Etude de l'oxydation d'un colorant organique AO7 par H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>, en présence d'un catalyseur de type dawson-Well.* Synthèse : Revue des Sciences et de la Technologie, pp. 1-9, 2016.
2. **Halder M, Ansari Z, Ahammed S, Sen K.** *Biogenic Nano-CuO-Catalyzed Facile C – N Cross-Coupling Reactions: Scope and Mechanism.* ACS Sustainable Chemistry & Engineering , pp. 648–657, 2017.
3. **Chiu, CW, et al.** *Isothermal Adsorption Properties for the Adsorption and Removal of Reactive Blue 221 Dye from Aqueous Solutions by Cross-Linked -Chitosan Glycan as Acid-Resistant Adsorbent.* Polymers, pp. 13-28, 2018.
4. **Li W, Bingnn M et Yiqi Y.** *Feasibility of Industrial-Scale Treatment of Dye Wastewater via Bio-Adsorption Technology.* Bio resource Technolog, avril 2019,
5. **AzzaShehada M.** *Numéro spécial du bulletin de recherche Ministère du Tourisme et des Antiquités Royaume hachémite de Jordanie.* Protection de l'environnement humain (Lumière et aspirations), Mars 1980.
6. **Gaujous D.** *La pollution des milieux aquatiques.* Paris : revue et augmentée Relié, 1999.
7. **Al-Khashab, et al.** *Ressources en eau en Irak Bagdad University Press, 1983.*
8. **Long M.** *Environnement et pollution localement et mondialement la discussion a eu lieu Liban, 1999.*
9. Département de la protection et de l'amélioration de l'environnement. *Water Pulse of Life.* Bagdad, Janvier 2000.
10. **Dalhaton S.** *application des techniques d'oxydation avancée pour la dépollution des effluents organiques dans les eaux de rejet industriels : cas des savonneries.* Université de Grenoble, Français, 2014.
11. **Rajgopalan S.** *Water pollution problem in the textile industry and contro. Trivedy RK Eds pollution Karad.* Vol. 21-44, 1995.

12. **Routh T.** *Anaerobic Treatment of vegetable tannery waste-water by UASB process.* Journal of Environmental Protection. 115-123, 1998.
13. **Ali M et Sreekrishnan T.** *Advances in Environmental Research.* Aquatic toxicity from pulp and paper mill effluents. 175-196, 2001.
14. **Koplin, D.** *Pharmaceuticals, hormones and other organic waste water contaminants in US Stream.* A national reconnaissance - Environmental Science & Technology. 1202-1211, 1999-2000.
15. **Goyal M, Singh S et Roop.** *Equilibrium and Dynamic Adsorption of Methylene Blue from Aqueous Solutions by Surface Modified Activated Carbons.* Journal of Carbon Science, Vol. 5, 170-179, 2004.
16. **Bouchemal N, Merzougui Z et Addoun F.** *Adsorption en milieux aqueux de deux colorants sur charbons actifs a base de noyaux de dattes.* Journal de la société Algérienne de chimie, 1-14, 2011.
17. **Joaquim A, et al.** *Adsorption Of Acid Orange 7 dye In Aqueous Solutions by Spent Brewery Grains Separation And Purification.* Technology, 309–315, 2004.
18. **Ghezzar M, et al.** *New prototype for the treatment of falling film liquid effluents by gliding arc discharge part I: Application to the discoloration and degradation of anthraquinonic Acid Green 25.* Chemical Engineering and processing:Process Intensification 72, pp. 42-50, 2013.
19. **Anliker A.** *Ecotoxicology of dye stuffs – A joint effort by industry.* Ecotoxicol Environ Safety, 59-74, 1979.
20. **Chung G, Fulk G et Andrew W.** Mutagenicity testing of some commonly used dyes. *Appl. Environ. Microbiol.* 641-648, 1981.
21. **Zollinger H.** *Color Chemistry – syntheses, proprieties and applications of organic dyes and pigments.* VCH Publications. New York , 1991.
22. **Sedira N.** *Etude de l'adsorption des métaux lourds sur un charbon actif issu de noyaux de dattes.* Souk-Ahras : Diplome de Magister en chimie physique et analytique Université Mohamed Chérif Massaadia, 2012-2013.

23. **Hillel M.** *Modélisation des cinétiques d'adsorption dans le cas du phénol et du bleu de méthyle sur le charbon actif en grain.* "Ingénieur d'état en Génie de l'Environnement. s.l. : Ecole Nationale Supérieure Polytechnique, 2009.
24. **Pepin J.** Adsorption. *Technique de l'ingénieur.* 2730-2734.
25. **Saaidia S.** *Dégradation d'un colorant cationique par photocatalyse, électrooxydation et leur couplage.* Annaba : Diplôme de doctorat, Université Badji Mokhtar, 2018.
26. **Nandi B, Goswami B et Purkai M.** *Adsorption characteristics of brilliant green dye on kaolin.* Annaba : Diplôme de doctorat, Université Badji Mokhtar, Hazard Mater, 387-395 , 2009.
27. **Hameed B.** *Evaluation of papaya seed as a novel non-conventional low-cost adsorbent for removal of methylene blue.* Hazard Mater, 939-994, 2010.
28. **Chitour C.** *Physico-chimie des surfaces, O, P, U, V 2.* Alger, 1992.
29. **Abbas M.** *Valorisation du noyau d'abricot dans la dépollution des eaux.* Boumerdes : Thèse de Doctorat Chimie des Matériaux Université M'hamed Bougara, 2015.
30. **Baudi M, et al.** *Prévision de l'adsorption de molécules organiques en solution aqueuse en fonctions de quelques caractéristiques physico-chimiques de charbons actifs Prédiction of Adsorption from Aqueous Phase of Organic Molecules as a Function of Some Physicochemical.* Water Quality Research Journal, 631-657, 2001.
31. **Lopez-Ramon M, Stoeckli F et Moreno-Castilla, Carasco-Marin C.** *On the characterization of acidic and basic surface sites on carbons by various techniques.* Carbon . 1215-1221, 2000 .
32. **Bouziane N.** *Elimination du 2-Mercaptobenzothiazole par voie photochimique et par adsorption sur la bentonite et le charbon actif en poudre.* Constantine : Mémoire de magister, Université Mentouri , 30 mai 2007.
33. **Begane M.** *Elimination d'un colorant des effluents de l'industrie textile par adsorption.* paris : Annal de chimie, 2000.
34. **Talidi A.** *Etude de l'élimination de chrom et de bleu de méthylène en milieu aqueux par adsorption sur la pyrophyte traitée et non traitée.* Thèse de doctorat.

35. **Salam T.** *Roll of surface chemistry in adsorption of phenol on activated carbon.* Journal of colloid and interface Science 264, pp. 37-312, 2005.
36. **Cherraye R.** *Préparation par voie chimique d'un charbon actif à partir des déchets de café (effet de taux d'adjuvant).* Ouargla, : Mémoire Master Académique, Université Kasdi Merbah, 16/06/2012.
37. **Cardot, S.** Les traitements de l'eau problèmes résolus. *Génis de l'environnement.* Edition Ellipses. 23, 1999.
38. **Gao Z, et al.** *Directacide activation of kaolinite and its effects on the adsorption of methylene blue.* Applied Clay Science, 98-106, 2016.
39. **Grégorio C et Pierre-Marie B.** *Traitement et épuration des eaux industrielles polluées : procédés membranaires, bioadsorption et oxydation chimique.* Université de Franche-Comté: Presses universitaires de Franche-Comté) , 2007.
40. **Barka N.** *L'élimination des colorants de synthèse par adsorption sur un phosphate naturel et par dégradation photocatalytique sur TiO<sub>2</sub> supporte .* Algérie : Thèse doctorat, Faculté sciences, 2008.
41. **Bougdah N.** *Etude de l'adsorption de micropolluants organique sur la bentonite.* Skikda : Mémoire magister, Université 20 Août 55, 2007.
42. **Marzouk I.** *Étude de l'élimination du chrome VI par adsorption sur l'alumine activée par dialyse ionique croisée.* 170.
43. **Osnick J.** *Etude du potentiel d'utilisation de résidus agricoles haïtiens pour le traitement par biosorption d'effluents pollués.* Thèse de doctorat. Chimie de Lyon, 2009.
44. **Ayhan D.** *Heavy metal adsorption onto agro-based waste material.* Journal of Hazardous Materials 157. 220–229.
45. **Khalifaoui A.** *Etude Expérimentale de L'élimination de Polluants Organiques et Inorganiques par Adsorption sur des Matériaux Naturels.* Constantine : Thèse de doctorat. Université de Mentouri, 2012.
46. **Benmeziane K et Lehllali S.** *Etude de phénomène d'adsorption de bleu de méthylène sur les coquilles des amandes.* M-BEJAIA : Mémoire de master. Université Amira, 2017.

47. **Crini G.** *Non-conventional low-cost adsorbents for dye removal.* Bioresource Technology, 1061-1085, 2006.
48. **Seader J et Henley E.** *Separation Process Principles.* Wiley, 2010.
49. **Bansal R et Goyal M.** *Activated carbon adsorption.* CRC Press, 2003.
50. **Foo K et Hameed B.** *Insights into the modeling of adsorption isotherm systems.* Chemical Engineering Journal, 2-10, 2010.
51. **Salehizadeh H et Shojaosadati S.** *Removal of metal ions from aqueous solution by polysaccharide produced from Bacillus firmus.* Water Research, 4223-4228, 2001 .
52. **Gogate P et Pandit A.** *A review of imperative technologies for wastewater treatment II: Hybrid methods.* Advances in Environmental Research, 553-597, 2004.
53. **Wang J, Chen C et Dionysiou D.** *Photocatalytic oxidation of organic dyes and pollutants in wastewater using different modified titanium dioxides: A comparative review.* Journal of Hazardous Materials, 677-706, 2007.
54. **Azizian S.** *Kinetic models of sorption: a theoretical analysis.* Journal of Colloid and Interface Science, 47-52, 2004.
55. **Schor H et Teixeira L.** *The Fundamental Rotational-Vibrational Band of CO and NO.* Chem. Ed.
56. **Ewing, G.** *Instrumental Methods of Chemical Analysis,*. NY: MacGraw-Hil, p. 1975.
57. **Hameed B.** *Evaluation of papayaseeds as a novel non-conventionallow 3cost adsorbent for removal of methyleneblue.* Hazard Mater, pp. 939-944, 2009.
58. **Baccar R, et al.** *Removal of pharmaceutical compounds by activatedcarbonspreparedfrom agricultural by product.* Chem.Eng, 310-317, 2012.
59. **Martin R, Ng W.** *Chemical Regeneration of Exhausted Activated Carbon I.* Water Research, 59-73, 1984.
60. **Purkait M, Maiti A, DasGupta S, De S.** *Removal of congo red using activated carbon and its regeneration.* Journal of Hazardous Materials, 287-295, 2007.

61. **Leng C, Pinto N.** *An Investigation of the Mechanisms of Chemical Regeneration of Activated Carbon.* . Industrial & Engineering Chemistry Research, 2024- 2031, 1996.
62. **Tabai A, Bechiri O et Ferdenache H.** *Etude de l'oxydation d'un colorant organique AO7 par H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>, en présence d'un catalyseur de type dawson-Well.* Synthèse : Revue des Sciences et de la Technologie, 1-9, 2016.
63. **Halder M, et al.** *Biogenic Nano-CuO-Catalyzed Facile C – N Cross-Coupling Reactions: Scope and Mechanism.* ACS Sustainable Chemistry & Engineering, 648–657, 2017.
64. **Shehada A.** *Numéro spécial du bulletin de recherche Ministère du Tourisme et des Antiquités Royaume hachémite de Jordanie. Protection de l'environnement humain (Lumière et aspirations), Mars 1980.*