



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



Université Ahmed Draïa Adrar  
Faculté des Sciences et de la Technologie  
Département des sciences de la matière

## MEMOIRE

### MASTER ACADEMIQUE

Domaine : Science de la matière

Filière : Chimie

Spécialité : Chimie de l'environnement

Intitulé

# Dépollution des eaux usées par un biosorbant

Présenté par :

Mr : KHENFOUSSI Mustapha

Melle : BOULGHITI Cherifa

Soutenu publiquement le 03/07/2019

Devant le jury :

Président : Mr HABCHI Abdelmadjid M. A. A Univ. Adrar

Promoteur : Mr ARROUSSI Abdelaziz M. A. A Univ. Adrar

Examineur : Mr LAKSACI Hamza M. A. B Univ. Adrar

Année Universitaire : 2018/2019

## *Remerciements*

*Tout d'abord, je remercie ALLAH le tout puissant qui a guidé mes pas vers le savoir et qui m'a donné la force de concevoir cet humble travail jusqu'à la fin.*

*Je tiens tout d'abord à remercier mon encadreur, Monsieur **ARROUSSI Abdelaziz** Maître de Conférences classe A à l'Université d'Adrar pour toute la diligence qu'il m'a consentis tout au long de l'élaboration de ce mémoire par ses encouragements et ses précieux conseils.*

*Je voudrais, remercier le président **HABCHI Abdelmadjid** Maître de Conférences classe A et le jury **LEKSACI Hamza** Maître de Conférences classe B à l'université d'Adrar d'avoir accepté d'examiner ce travail.*

*Je tiens aussi à exprimer ma profonde gratitude à l'égard de M<sup>elle</sup> **RADJI Gania** ce qui nous a aidé avec ses conseils et ses informations.*

*Je tiens aussi à exprimer mon profonde gratitude à l'égard du professeur **IDDOU Abdelkader** pour ses précieuses informations et conseils.*

*Enfin, je voudrais également remercier tous les amis du laboratoire de chimie et de l'environnement pour les merveilleux jours passés ensemble, et en particulier **BOUKHETACHE Ishak**, Et à tous ceux qui ont contribué à ce travail de près ou de loin.*



# ***Dédicaces***

***A mes chers parents***

***A mes chères sœurs***

***A mon encadreur ARROUSSI Abdelaziz***

***A tous mes amis et proches***

***A tous mes collègues de laboratoire :***

***Ma binôme BOULGHITI Cherifa.***

***HIRI Abderrahmane, MEZAOULI Abdelhak***

***SALHI Wafa, LITIM Khawla.***

***KHENFOUSSI M.***



## *Dédicaces*

*A mes très chers parents*

*Pour leur patience et leur réconfort dans les moments de doutes  
et de découragement.*

*A mes frères et ma sœur*

*A mon fiancé B.C.B*

*A mon encadreur ARROUSSI Abdelaziz*

*A tous les membres de ma famille*

*A tous mes professeurs*

*A tous mes collègues de laboratoire :*

*Mon binôme KHENFOUSSI Mustapha.*

*HIRI Abderrahmane, MEZAOULI Abdelhak, RABHI Zeyneb,  
MAMOUNI Khadidja, SALHI Wafa, LITIM Khawla.*

*Et amies pour leurs conseils et leur  
soutien précieux*

*A tous ceux qui me sont chers*

*Je leur dédie ce modeste travail.*

*BOULGHITI C.*

## **Chapitre I : Etudes Bibliographiques**

**Tableau I.1 :** Principaux types de pollution des eaux continentales, nature des produits polluants et leurs origines.....7

**Tableau I. 2.** Principaux Groupes chromophores et auxochromes.....11

**Tableau I. 3.** Classification des colorants synthétiques.....14-16

## **Chapitre III : Résultats et discussions**

**Tableau III. 4.** Les paramètres des essais de modélisation des trois isothermes d'adsorption de rouge télon lumière par le déchet de thé.....49

# Liste des figures

---

## Chapitre I : Etude bibliographique

<b>Figure I. 1.</b> Méthodes généralement utilisées pour éliminer les polluants.....	9
<b>Figure I. 2.</b> Structure générale des colorants azoïques.....	11
<b>Figure I. 3.</b> Structure générale des colorants anthraquinoniques.....	12
<b>Figure I. 4.</b> Structure générale des colorants indigoides.....	12
<b>Figure I. 5.</b> Structure générale des colorants xanthènes.....	13
<b>Figure I. 6.</b> Structure générale des colorants phtalocyanines.....	13
<b>Figure I. 7.</b> Structure générale des colorants nitrosés.....	13
<b>Figure I. 8.</b> Domaines d'existence d'un soluté lors de l'adsorption sur un matériau microporeux.....	22
<b>Figure I. 9.</b> Classification des allures des isothermes d'équilibre d'adsorption selon leur allure.....	24
<b>Figure I. 10.</b> Représentation graphique de l'isotherme de Freundlich.....	26

## Chapitre II : Partie expérimentale

<b>Figure II. 11.</b> Formule développée du rouge télon lumière.....	31
<b>Figure II. 12.</b> Schéma de principe du spectrophotomètre UV Visible.....	34
<b>Figure II.13.</b> Schéma du principe du spectromètre à transformée de Fourier.....	35
<b>Figure II. 14.</b> Détermination de $\lambda_{max}$ du rouge télon lumière.....	37
<b>Figure II. 15.</b> Courbe d'étalonnage du rouge télon lumière.....	37

## Chapitre III : Résultats et discussions

<b>Figure III. 16.</b> Effet du temps de contact sur l'adsorption du rouge télon lumière ( $m = 200\text{mg}$ ; $C = 50 \text{ mg/l}$ ; $T = 25 \pm 1 \text{ }^\circ\text{c}$ ).....	40
<b>Figure III.17.</b> Courbe de point de charge nulle de déchet de thé.....	41

## Liste des figures

---

<b>Figure III. 18.</b> Effet du pH sur l'adsorption du rouge télon lumière ( $m=200\text{mg}$ ; $C = 50 \text{ mg/l}$ ; $t = 50\text{min}$ ; $T = 25 \pm 1^\circ\text{c}$ ).....	42
<b>Figure III. 19.</b> Effet de la concentration initiale du colorant sur l'adsorption ( $m =200 \text{ mg}$ ; $\text{pH} = 3.2$ ; $t = 50\text{min}$ ; $T= 25 \pm 1^\circ\text{c}$ ).....	43
<b>Figure III. 20 :</b> Effet de la masse sur l'adsorption du rouge télon lumière ( $C = 80 \text{ mg/l}$ ; $t = 50\text{min}$ ; $\text{pH} = 3$ ; $T= 25 \pm 1^\circ\text{c}$ ).....	44
<b>Figure III. 21.</b> Spectre Infra-Rouge de déchet de thé avant et après l'adsorption du rouge télon lumière.....	45
<b>Figure III. 22.</b> L'isotherme d'équilibre d'adsorption .....	46
<b>Figure III. 23.</b> Essai de modélisation d'isotherme d'adsorption du rouge télon lumière par déchet de thé, selon le modèle de Langmuir.....	47
<b>Figure III. 24.</b> Essai de modélisation des isothermes d'adsorption du de rouge télon lumière par déchet de thé selon le modèle de Freundlich.....	48
<b>Figure III. 25.</b> Essai de modélisation d'isotherme d'adsorption du rouge télon lumière par déchet de thé selon le modèle de Temkin.....	49

# SOMMAIRE

Liste des tableaux

Liste des figures

Résumé

Introduction Générale..... 2

## Chapitre I : Etudes Bibliographiques

I. La pollution.....5

I.1 La pollution de l'eau .....5

I.2 Classification de la pollution de l'eau selon la répartition géographique .....5

I.2.1 Pollution ponctuelle :(directe) .....5

I.2.2 Pollution diffuse : (indirecte) .....6

I.3 Classification de la pollution de l'eau .....6

I.3.1 Pollution domestique .....6

I.3.2 Pollution industrielle .....6

I.3.3 Pollution agricole .....7

I.4 Les principaux polluants des eaux .....6

I.5 Traitement des eaux usées .....7

I.5.1 Les prétraitements .....8

I.5.2 Le traitement primaire .....8

I.5.3 Le Traitement secondaire .....9

II. Les colorants Organiques .....10

II.1 Les colorants synthétiques .....10



II.2 Les colorants naturels .....	10
II.3 Classification des colorants .....	11
II.3.1 Classification chimique .....	11
II.3.1.1 Les colorants azoïques .....	11
II.3.1.2 Les colorants anthraquinoniques .....	12
II.3.1.3 Les colorants indigoïdes .....	12
II.3.1.4 Les colorants xanthènes .....	12
II.3.1.5 Les colorants phtalocyanines .....	13
II.3.1.6 Les colorants nitrés et nitrosés .....	13
II.3.2 Classification tinctoriale .....	14
II.4 Utilisation et application des colorants .....	16
II.5 L'impact des rejets textiles sur l'environnement .....	16
II.6 Toxicité des colorants .....	17
II.6.1 Les dangers à court terme .....	17
II.6.1.1 Eutrophisation .....	17
II.6.1.2 Sous-oxygénation .....	17
II.6.1.3 Couleur-turbidité, odeur .....	17
II.6.2 Les dangers à long terme .....	17
II.6.2.1 La persistance .....	17
II.6.2.2 Bioaccumulation .....	18
II.6.2.3 Cancer .....	18
II.6.2.4 Sous-produit de chloration .....	18
III. Méthodes de récupérations des colorants textiles .....	18

III.1 Procédés biologiques .....	19
III.1.1 Traitement aérobie .....	19
III.1.2 Traitement anaérobie .....	19
III.2 Procédés chimiques .....	19
III.3 Procédés physico-chimique .....	20
III.3.1 Coagulation-Floculation .....	20
III.3.2 Filtration membranaire .....	20
III.3.3 Phénomène d'adsorption .....	21
III.3.3.1 Les différents types d'adsorption .....	21
III.3.3.1 Les différents types d'adsorption .....	21
III.3.3.1.1 Adsorption physique .....	21
III.3.3.1.2 Adsorption chimique .....	21
III.3.3.2 Description du mécanisme d'adsorption.....	21
III.3.3.3 Principaux facteurs influençant l'adsorption .....	22
III.3.3.3.1 Concentration.....	22
III.3.3.3.2 Température.....	23
III.3.3.3.3 pH.....	23
III.3.3.3.4 Masse de l'adsorbant .....	23
III.3.3.3.5 L'adsorbat.....	23
III.3.3.4 Modèles d'isothermes d'adsorption .....	23
III.3.3.4.1 Modèle de Freundlich .....	25
III.3.3.4.2 Modèle de Langmuir.....	27
III.3.3.4.3 Modèle de Temkin .....	27

IV. Les différents types d'adsorbants .....	28
IV.1 Adsorbants industriels .....	28
IV.1.1 Charbon Actif.....	28
IV.1.2 Les alumines activées.....	28
IV.1.3 Les argiles activées.....	29
IV.1.4 Les zéolithes.....	29
IV.2 Les Adsorbants naturels (Biosorbants) .....	29
 <b>Chapitre II : Partie expérimentale</b>	
I. Choix de molécule étudiée.....	31
II. Choix de l'adsorbant.....	32
III. Les méthodes d'analyse.....	32
III.1 Spectrophotométrie UV-visible.....	32
III.1.1 La loi de Beer-Lambert.....	32
III.1.2 Principe de la spectrophotométrie UV-visible.....	33
III.2 Spectroscopie infrarouge (IR) .....	34
III.2.1 Définition.....	34
III.2.2 Principe de la spectroscopie IR-TF.....	34
IV. Produits et matériels.....	35
IV.1 Les produits utilisés .....	36
IV.2 Le matériel .....	36
IV.2.1 Appareillage électrique.....	36
V. Les modes opératoires.....	36
V.1 Préparation de l'adsorbant (déchets de thé) .....	36

V.2 Préparation des solutions du colorant.....	36
V.3 Détermination $\lambda_{\max}$ du colorants.....	37
V.4 Détermination de la courbe d'étalonnage.....	37
V.5 Préparation du mélange colorant- déchet de thé.....	37
V.6 Détermination du point de charge nulle du biorbant.....	38
 <b>Chapitre III : Résultats et discussions</b>	
I. Caractérisation par UV-visible.....	40
I.1 Effet du temps de contact.....	40
I.2 Effet du pH.....	41
I.2.1 Détermination de point de charge nulle de biosorbant (déchet de thé) .....	41
I.2.2 Détermination de PH optimale.....	42
I.3 Effet de la concentration initiale du colorant.....	43
I.4 Effet de la quantité d'adsorbant.....	44
II. Caractérisation par spectroscopie Infra-Rouge.....	44
III. Modélisation de l'isotherme d'adsorption.....	46
III.1 Modèle de Langmuir.....	46
III.2 Modèle de Freundlich .....	48
III.3 Modèle de Temkin.....	48
Conclusion général.....	52
Références bibliographiques.....	54
Annexes.....	65

## Résumé

La pollution des eaux usées par les colorants l'un des problèmes majeurs à résoudre dans les pays industrialisés. Diverses méthodes classiques sont utilisées pour éliminer les colorants des eaux usées existant.

Dans le cadre de ce mémoire nous sommes intéressés au procédé d'adsorption des colorants textiles. Le traitement consiste à un traitement par un biosorbant (déchet de thé). On étudie l'évaluation de l'effet de certains paramètres opératoires sur la quantité d'adsorption (temps de contact, dose d'adsorbant, concentration initiale du colorant et pH de solution).

Les résultats obtenus montrent que le traitement du rouge télon lumière donne un bon résultat, la quantité d'adsorption est 181.990 mg/g.

Mots clés : Adsorption, déchets de thé, pollution, colorants, eaux usées.

## Abstract

Pollution of wastewater by dyes is one of the major problems to be solved in the industrialized countries. Various conventional methods are used to remove dyes from existing wastewater.

In the context of this memory, we are interested in the adsorption process of textile dyes. The treatment consists of a treatment with a biosorbant (tea waste). The evaluation of the effect of certain operating parameters on the adsorption quantity is studied (contact time, dose of adsorbant, initial dye concentration and solution pH).

The results obtained show that the light telon red treatment gives a good result, the amount of adsorption is 181.990 mg/g.

**Keywords:** Adsorption, tea waste, pollution, dyes, Wastewater.

## الملخص

يعد تلوث المياه العادمة من الأصباغ إحدى المشكلات الرئيسية التي يجب حلها في البلدان الصناعية. تستخدم الطرق التقليدية المختلفة لإزالة الأصباغ من مياه الصرف المستعملة الحالية.

في سياق هذه المذكرة، نحن مهتمون بعملية الامتزاز لأصباغ النسيج، حيث يتكون العلاج من مادة ماصة حيوية (نفايات الشاي). تمت دراسة تقييم تأثير بعض شروط التجربة على كمية الامتزاز (وقت التجربة، كمية الكتلة الحيوية، تركيز الصبغة الأولي ودرجة الحموضة في المحلول).

أظهرت النتائج التي تم الحصول عليها أن معالجة اللون الأحمر تعطي نتيجة جيدة، وكمية الامتزاز هي 181.990 ملغم / جم . الكلمات المفتاحية: الأصباغ، مياه مستعملة، الامتزاز، نفايات الشاي، تلوث.

# **INTRODUCTION GENERALE**

# Introduction générale

---

## Introduction générale

Les problèmes de la pollution de l'environnement ont suscité une inquiétude croissante de l'homme à la suite de l'augmentation du développement industriel et urbain. Parmi les nombreux produits industriels susceptibles de jouer le rôle d'agents polluants, les colorants industriels constituent un problème majeur de pollution. [1]

La pollution des eaux issues des rejets industriels est un sérieux problème dans plusieurs pays. Cette pollution peut provoquer des effets nocifs sur l'environnement et sur la santé humaine. Les eaux résiduaires industrielles chargées en colorants ont été largement étudiées. [2]

L'industrie textile se caractérise par l'utilisation de grandes quantités d'eau et de composés chimiques au cours des processus : en particulier lors de la teinture des tissus, dans lesquels un grand volume d'eaux usées est généré avec un nombre important de polluants avec des acides, des bases, des solides dissous, des composés toxiques et des résidus de colorants qui ne se lient pas aux fibres. Les effluents produits posent un problème environnemental en raison de la contamination qui en résulte, en particulier des colorants rejetés et réduisant la pénétration de la lumière solaire, affectant les processus de photosynthèse et générant une perte de diversité biologique. Un exemple du colorant azoïque. [3]

La protection de l'environnement, préoccupation majeure de notre société, encourage donc le développement de procédés pour l'amélioration des méthodes de dépollution respectueuses de l'environnement. Ainsi, la nécessité de comprendre les mécanismes intervenant dans ces processus a conduit à de nombreux travaux de recherches tant au niveau fondamental qu'appliqué. Des procédés complémentaires de traitement (oxydation avancée, filtration membranaire, adsorption, etc.) sont donc actuellement développés pour le traitement des eaux usées du fait de l'inefficacité des traitements classiques pour certains micropolluants comme les colorants. [4]

Le procédé d'adsorption est l'une des méthodes qui ont montré une grande efficacité pour l'élimination des contaminations de nature différente notamment les polluants organiques (pesticides, composés phénoliques, colorants...). [5]

La recherche est orientée sur la dépollution des eaux usées par biosorbant naturel ; déchet de thé.

## Introduction générale

---

Dans ce travail, nous nous sommes intéressés à l'élimination des colorants en particulier le rouge télon lumière par biosorbant déchet de thé

Pour cela, nous avons divisé notre travail en trois chapitres :

- ✓ Le premier chapitre englobe une étude bibliographique sur la pollution des eaux, les colorants et les différents procédés de leur traitement et les différents biosorbants ;
- ✓ Le deuxième chapitre à sera consacré la présentation des méthodes de caractérisations telles que le spectrophotomètre UV-visible et la spectroscopie infra-rouge ;
- ✓ Le troisième chapitre donnera l'exploitation des différents résultats expérimentaux et à leurs interprétations.

L'étude est clôturée par une conclusion générale avec des perspectives pour la suite de cette étude.



**CHAPITRE I :**  
**ETUDES**  
**BIBLIOGRAPHIQUES**

## **I. La pollution**

De nos jours, l'environnement est une notion contemporaine qui est utilisée sous différents aspects et qui reste par conséquent assez floue. Souvent, l'environnement se rapporte à ce qui vit, c'est-à-dire aux animaux, aux plantes et aux microorganismes. Ces espèces vivantes dépendent les unes des autres et de leur milieu, qui se compose d'innombrables " éléments " influents, qu'on appelle les facteurs écologiques. [6]

La définition la plus générale du terme de la pollution a été donnée par le 1<sup>er</sup> rapport du Conseil sur la qualité de l'Environnement de la Maison Blanche (1965) « La pollution est une modification défavorable du milieu naturel qui apparaît, en totalité ou en partie, comme un sous-produit de l'action humaine. Au travers des effets directs ou indirects altérant les critères de répartition des flux de l'énergie, des niveaux de radiation, de la constitution physico-chimique du milieu naturel et de l'abondance des espèces vivantes. Ces modifications peuvent affecter l'homme directement ou au travers des ressources agricoles, en eau et en produits biologiques. Elles peuvent aussi affecter en altérant les objets physiques qu'il possède ou les possibilités récréatives milieu ». [7]

### **I.1 La pollution de l'eau**

L'eau est un corps composé, constitué des éléments oxygène et hydrogène. [8]

La pollution de l'eau est généralement induite par l'homme. Il résulte des actions humaines poursuivies pour s'améliorer. Celles-ci pourraient être traitées dans le cadre des diverses activités exercées par l'homme, qui entraînent une pollution. La croissance de la population humaine et des pratiques industrielles et agricoles est la principale cause de pollution. [9]

Les eaux usées désignent les eaux altérées par les activités humaines à la suite d'un usage domestique, artisanal, industriel, agricole ou autre. Ces eaux sont considérées comme polluées et doivent être traitées. [10]

### **I.2 Classification de la pollution de l'eau selon la répartition géographique**

#### **I.2.1 Pollution ponctuelle (directe) [11]**

La pollution ponctuelle est principalement d'origine industrielle, infiltration de produits toxiques mal entreposés, fuites dans les réservoirs ou accidents lors du transport de matières dangereuses. Bien que localisée, les quantités sont souvent importantes, les concentrations dans les eaux pouvant aisément atteindre le gramme/L, un ordre de grandeur plus élevé

---

quelles contaminations par nitrates. Sur certains sites des produits purs peuvent atteindre la nappe et contaminer la totalité d'un aquifère.

### **I.2.2 Pollution diffuse (indirecte) [12]**

C'est une pollution causée par la diffusion de multiples polluants dans le temps et dans l'espace. Peu visible, elle se distingue de la pollution accidentelle.

L'identification des pollueurs et leur responsabilisation sont rendues délicates Par la multiplicité et la discrétion des origines de contamination.

Par opposition à " pollution ponctuelle ", c'est la pollution dont la ou les origines peuvent être généralement connus mais pour lesquelles il est impossible de repérer géographiquement des rejets dans les milieux aquatiques et les formations aquifères. Les pratiques agricoles sur la surface cultivée peuvent être à l'origine de pollutions diffuses par entrainement de produits polluants dans les eaux qui percolent ou ruissellent.

## **I.3 Classification de la pollution de l'eau**

### **I.3.1 Pollution domestique**

Les eaux usées domestiques proviennent des différents usages domestiques de l'eau. Elles sont essentiellement porteuses de pollution organique. Elle provient principalement aux rejets domestiques (eaux de lavage, huiles de vidange, matières fécales, etc.). Elles se répartissent en eaux ménagères qui ont pour origine les salles de bains et les cuisines et sont généralement chargées de détergents de graisses de solvants, de débris organiques. Et en eaux « vannes » il s'agit dans rejets des toilettes, chargés de diverses matières organiques azotées. [13,14]

### **I.3.2 Pollution industrielle**

La pollution des eaux issues des rejets industriels est un sérieux problème dans plusieurs pays. Cette pollution peut provoquer des effets nocifs sur l'environnement et sur la santé humaine. [15]

Les résidences privées ne sont pas les seuls bâtiments qui ont besoin d'eau : entreprises et usines en ont besoin aussi pour leur activité. Provenant des usines, les rejets industriels sont caractérisés par leur très grande diversité, suivant l'utilisation qui est faite de l'eau au cours du processus industriel. Selon l'activité industrielle, nous allons donc retrouver des pollutions aussi diverses que [16] :

- des matières organiques et des graisses (abattoirs, industries agro-alimentaires...);
- des hydrocarbures (industries pétrolières, transports);
- des métaux (traitement de surface, métallurgie);
- des acides, bases, produits chimiques divers (industries chimiques, tanneries...);
- des eaux chaudes (circuits de refroidissement des centrales thermiques);
- des matières radioactives (centrales nucléaires, traitement des déchets médicaux radioactifs).

### I.3.3 Pollution agricole

La pollution d'origine agricole provient surtout des engrais et pesticides épandus dans le sol sur de très grandes surfaces à proximité ou pas de cours d'eau. Ce type de pollution s'est intensifié depuis que l'agriculture est entrée dans un stade d'industrialisation assez avancé. La concentration des élevages entraîne un excédent de déjections animales qui finissent par enrichir les cours d'eau et les nappes souterraines en dérivés azotés, encourageant ainsi une source de pollution bactériologique. L'utilisation massive des engrais chimiques (nitrates et phosphates) altèrent aussi la qualité des nappes souterraines vers lesquelles ils sont entraînés. [17]

## I.4 Les principaux polluants des eaux

Un polluant est une substance naturelle ou issue des activités humaines qui, lorsqu'elle est présente en quantité trop importante dans l'environnement, peut avoir des effets nocifs sur les êtres vivants.

**Tableau I.1** : Principaux types de pollution des eaux continentales, nature des produits polluants et leurs origines. [18]

Types de pollution	Nature	Source
<b>Physique</b>		
Pollution thermique	rejets d'eau chaude	centrales thermiques
Pollution radioactive	radio-isotopes	installations nucléaires
<b>Matière organique</b>		
	glucides, lipides, protides	effluents domestiques, agricoles, agro- alimentaires
	ammoniac, nitrates	élevages et piscicultures
<b>Chimique</b>		
Fertilisants	nitrates, phosphates	agriculture, lessives

Métaux et métalloïdes	Hg, Cd, Pb, Al, As...	industries, agriculture, pluies acides..etc.
Pesticides	insecticides, herbicides, fongicides	agriculture, industries
Composés organique de synthèse ( <b>exp: les colorants</b> )	nombreuses molécules	industries
Détergents	agents tensio-actifs	effluents domestiques
Hydrocarbures	pétrole et dérivés	industrie pétrolière, transports
<b>Microbiologique</b>	bactéries, virus, champignons	Effluents urbains et d'élevage

### I.3 Traitement des eaux usées

Pour le traitement des eaux usées, il divise en quatre étapes [19] :

- ❖ Les prétraitements ;
- ❖ Le traitement primaire ;
- ❖ Le traitement secondaire.

#### I.5.1 Les prétraitements

Le prétraitement consiste en trois étapes principales qui permettent de supprimer de l'eau les éléments qui gêneraient les phases suivantes de traitement. Toutes les stations d'épuration ne sont pas forcément équipées des trois, seul le dégrillage est généralisé les autres sont le dessablage et le déshuilage. [20]

#### I.5.2 Le traitement primaire

En épuration des eaux usées le traitement primaire est une simple décantation qui permet de supprimer la majeure partie des matières en suspension. A la fin de ce traitement, la décantation aura permis de supprimer environ 60% des matières en suspension, environ 30% de la demande biologique en oxygène (DBO) et 30% de la demande chimique en oxygène (DCO). Cette part de DBO supprimée est induite par les matières en suspension. La charge organique restant à traiter est allégée d'autant.

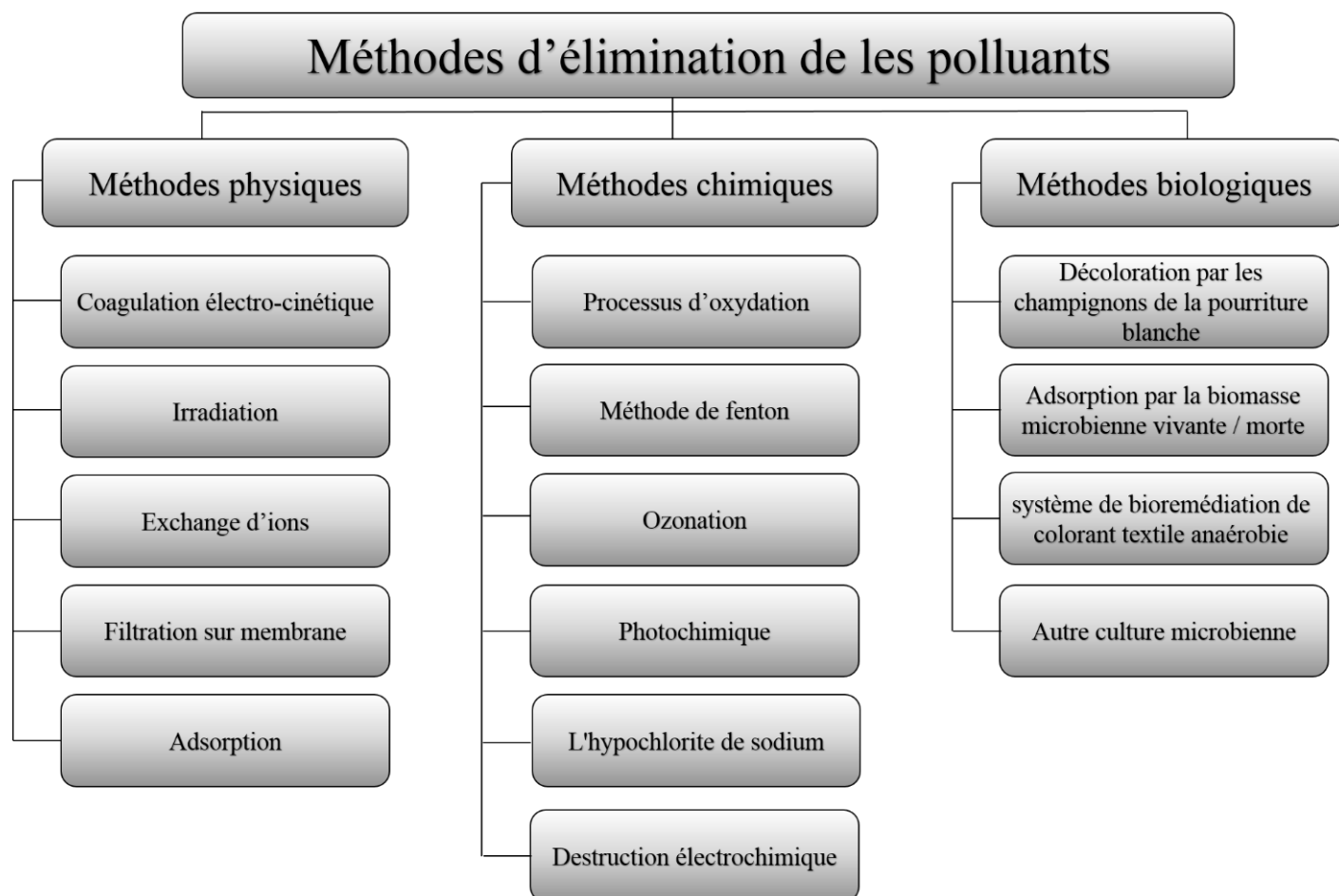
Les matières supprimées forment au fond du décanteur un lit de boues appelé boues primaires. [21]

### I.5.3 Le Traitement secondaire

Le traitement biologique des eaux usées est en termes de rendement d'élimination et de qualité de l'effluent traité, plus performant que les traitements physiques et physicochimiques. L'objectif du traitement biologique est l'élimination des matières réductrices réellement dissoutes, les matières organiques et l'ammonium. [22]

Le traitement secondaire comporte [20] :

- ✚ Traitement par voie biologique ;
- ✚ Traitement des composés organiques ;
- ✚ Nitrification ;
- ✚ Dénitrification ;
- ✚ Traitement par voie physico-chimique ;
- ✚ Déphosphatation ;



**Figure I.1.** Méthodes généralement utilisées pour éliminer les polluants. [23]

## II. Les colorants Organiques

Les colorants sont des composés généralement organiques, naturels ou synthétiques, qui ont la propriété de colorer durablement le support sur lequel ils sont appliqués. [24,25]

L'utilisation des colorants dans la vie humaine date de l'antiquité. Des populations primitives ont utilisé les peintures pour les décors corporels. Les anciens égyptiens et prussien ont aussi utilisé les colorants pour teindre les rupestres et les céramiques. A l'époque, les matières colorantes utilisées étaient d'origine naturelle extraites soit des végétaux comme l'indigo ou d'animaux comme le carmin qui est extrait de la cochenille. L'utilisation de ces colorants naturels s'est prolongée jusqu'à la première moitié du XIXème siècle. Après, ils ont été remplacés progressivement par les colorants synthétiques. Aujourd'hui les colorants constituent une matière de base dans de nombreuses industries comme le textile, le cuir, le papier, le plastique, la pharmaceutique, la cosmétique...etc.

[26,27]

Le déversement des colorants dans l'environnement constitue un énorme problème. La présence de ces types de contaminants dans l'eau est très visible et indésirable même à l'état de trace. De nombreuses études ont montré que l'exposition aux colorants engendre des effets négatifs sur la santé humaine. [28]

### II.1 Les colorants synthétiques

Ce sont des composés ayant comme matières premières des molécules telles que le benzène, issu de la distillation de la houille. C'est grâce à une série de procédés chimiques, qui correspondent en général à la substitution d'un ou plusieurs atomes d'hydrogène du produit de départ par des éléments ou des radicaux particuliers, que sont fabriqués les intermédiaires. Ces derniers serviront à la fabrication du colorant final. Les colorants synthétiques dont les propriétés peuvent être précisément adaptés à leur utilisation, dominant aujourd'hui le marché. [29]

### II.2 Les colorants naturels

Les premiers employés ont été d'origine minérale (terres colorées) ; et depuis que l'homme a réussi à maîtriser les techniques des tissages, il s'est servi de teintures d'origine végétale ou animale. [30]

Les colorants sont constitués de groupes chromophores responsables de la coloration de la molécule et de groupes auxochromes intervenant dans la solubilité du colorant et pouvant apporter des nuances à la couleur de base [31]. A ces deux éléments s'ajoutent des structures aromatiques conjuguées telles que les cycles benzéniques, pérylènes... [32].

Le groupe chromophore grâce à sa capacité à absorber la lumière dans le visible donne la couleur au colorant tandis-que le groupe auxochrome est chargé d'approfondir cette couleur. [33]

**Tableau I. 2.** Principaux Groupes chromophores et auxochromes. [34]

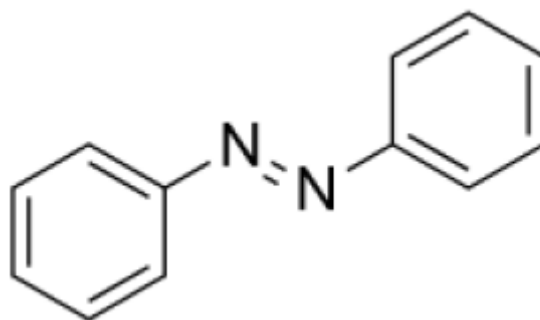
Groupes chromophores	Groupes auxochromes
Azo (-N=N-)	Amine primaire (-NH <sub>2</sub> )
Nitroso (-N=O ou -N-OH)	Méthylamino (-NHCH <sub>3</sub> )
Carbonyl (>C=O)	Diméthylamino(-N(CH <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> )
Vinyl (-CH=CH-)	Hydroxyl (-OH)
Nitro (-NO <sub>2</sub> )	Alkoxy(-OR)
Sulphure (>C=S)	Groupes donneurs d'électrons (-Cl)

## II.3 Classification des colorants

### II.3.1 Classification chimique

#### II.3.1.1 Les colorants azoïques

Les colorants "azoïques" sont caractérisés par le groupe fonctionnel azoïque (-N=N-) unissant deux groupements alkyles ou aryles identiques ou non (azoïque symétrique et dissymétrique). Ces structures qui reposent généralement sur le squelette de l'azobenzène, sont des systèmes aromatiques ou pseudo aromatiques liés par un groupe chromophore azoïque. [35,36]



**Figure I. 2.** Structure générale des colorants azoïques.



### II.3.1.2 Les colorants anthraquinoniques

D'un point de vue commercial, ces colorants sont les plus importants après les colorants azoïques. Leur formule générale dérivée de l'antracène montre que le chromophore est un noyau qui nonique sur lequel peuvent s'attacher des groupes hydroxyles ou amines. [37,38]

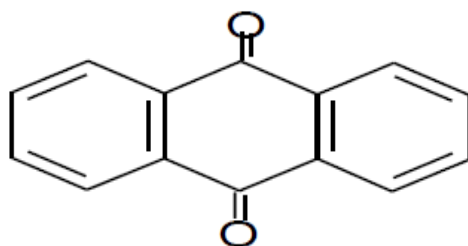


Figure I. 3. Structure générale des colorants anthraquinoniques.

### II.3.1.3 Les colorants indigoïdes

Les colorants indigoïdes tirent leur appellation de l'indigo dont ils dérivent. Ainsi, les homologues séléniés, soufrés et oxygénés du bleu indigo provoquent d'importants effets hypochromes avec des coloris pouvant aller de l'orange au turquoise. Les colorants indigoïdes sont utilisés comme colorant en textile, comme additifs en produits pharmaceutiques, la confiserie, ainsi que dans des diagnostics médicales. [39,40]

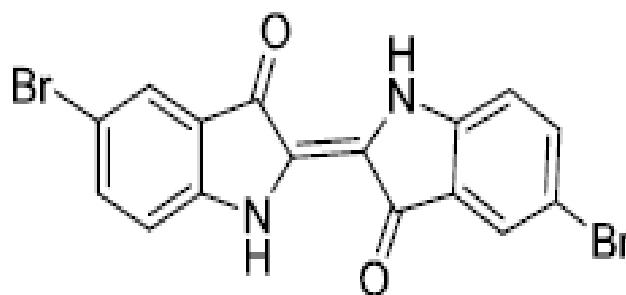


Figure I. 4. Structure générale des colorants indigoïdes.

### II.3.1.4 Les colorants xanthènes

Les colorants xanthènes sont des composés qui constituent les dérivés de la fluorescéine halogénée. Ils sont dotés d'une intense fluorescence. Leur propriété démarqueurs lors d'accident maritime ou de traceurs d'écoulement pour des rivières souterraines est malgré tout bien établie. Ils sont aussi utilisés comme colorant en alimentaire, cosmétique, textile et impression. [41,42]

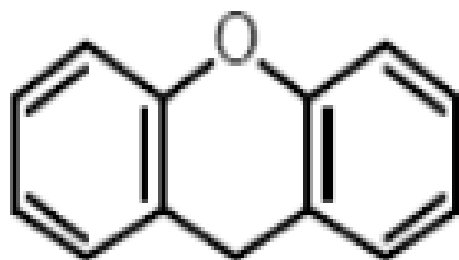


Figure I. 5. Structure générale des colorants xanthenes.

### II.3.1.5 Les colorants phtalocyanines

Ont une structure complexe basée sur l'atome central de cuivre. Les colorants de ce groupe sont obtenus par réaction du dicyanobenzène en présence d'un halogénure métallique (Cu, Ni, Co, Pt, etc.). [43]

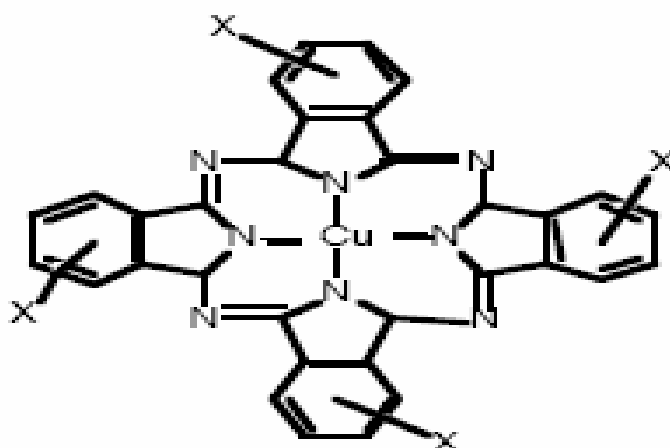


Figure I. 6. Structure générale des colorants phtalocyanines.

### II.3.1.6 Les colorants nitrés et nitrosés

Forment une classe de colorants très limitée en nombre et relativement ancienne. Ils sont actuellement encore utilisés, du fait de leur prix très modéré lié à la simplicité de leur structure moléculaire caractérisée par la présence d'un groupe nitro (-NO<sub>2</sub>) en position ortho d'un groupement électrodonneur (hydroxyle ou groupes aminés). [44,45]

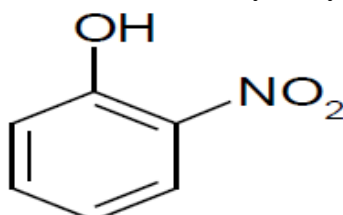
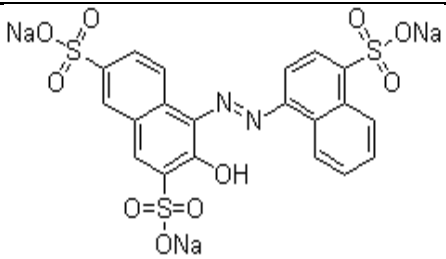
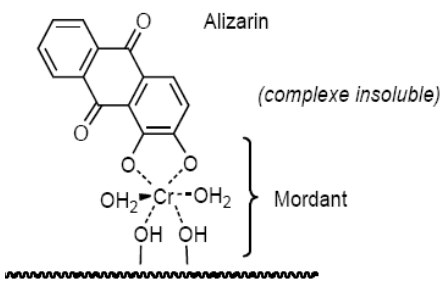
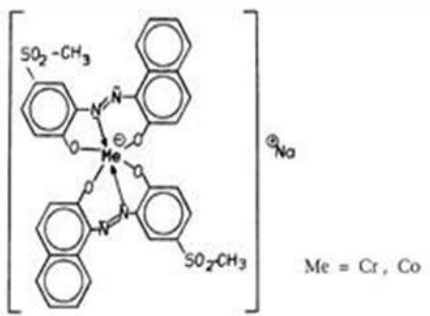
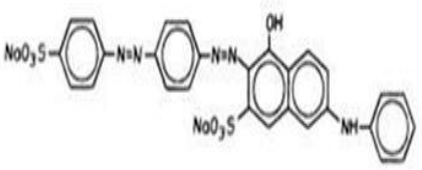


Figure I.7. Structure générale des colorants nitrosés.

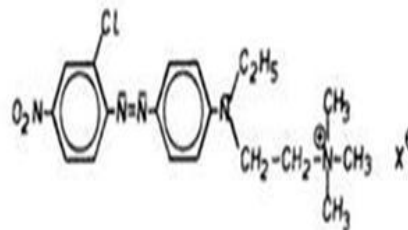
### II.3.2 Classification tinctoriale

Si la classification chimique présente un intérêt pour le fabricant de matières colorantes, le teinturier préfère le classement par domaines d'application. Ainsi, il est renseigné sur la solubilité du colorant dans le bain de teinture, son affinité pour les diverses fibres et sur la nature de la fixation. Celle-ci est de force variable selon que la liaison colorant/substrat est du type ionique, hydrogène, de Van der Waals ou covalente. On distingue différentes catégories tinctoriales définies cette fois par les auxochromes. [46]

**Tableau I. 3.** Classification des colorants synthétiques. [47]

Colorant	Application	Systèmes	Exemple
Acides	- polyamide (70 à 75 %) - laine (25 à 30 %) soie, fibres acryliques	azoïques	
Mordant	- laine - soie	Azoïques avec du chrome favorisant sa fixation	 <p>Alizarin (complexe insoluble) Mordant</p>
Métallifères	- fibres polyamides	Mono-Azoïques Contenant des groupements carboxyles et aminés pour former des complexes métalliques (Cr, Co, Ni, Cu)	 <p>Me = Cr, Co</p>
Directs	- viscose, le lin, le jute, la soie, les fibres polyamides et le coton	Azoïques, longues structures moléculaires planes qui permettent à ces molécules de s'aligner avec les macromolécules plates de cellulose	

Basiques (cationiques)  
Fibres : acryliques, polyamide  
Azoïques contiennent un groupe amine quaternaire



Au Soufre

coton et viscose les polyamides et polyesters rarement la soie

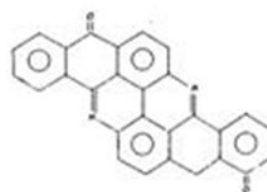
structure chimique exacte n'est pas toujours connue

de Cuve et leurs Leuco-esters

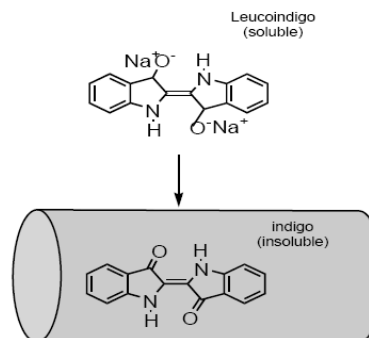
teinture et l'impression du coton et de fibres cellulosiques polyamide et de polyester avec des fibres cellulosiques

indigoïdes et anthraquinoniques

Colorant de cuve



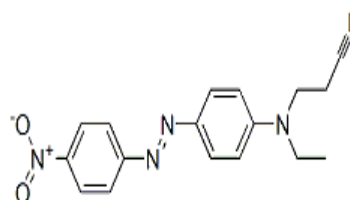
Colorant leuco-esters



Dispersés

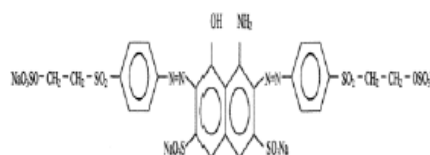
Polyester fibres cellulosiques fibres de polyamide et d'acrylique

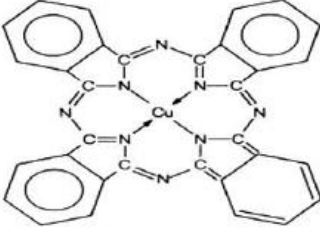
- Azoïques 50%  
- Anthraquinoniques (25%), + méthine, nitro et naphthoquinone.  
**Caractéristiques :** l'absence de groupes de solubilisation et un poids moléculaire faible



Réactifs

Azotiques, ont la particularité de posséder des groupements chimiques spécifiques capables de former des liaisons covalentes avec le support textile



Pigments	utilisés dans les procédés d'impression	Les pigments inorganiques sont en grande partie des dérivés benzoïques. Les pigments inorganiques (minéraux) sont des dérivés de métaux tels que Ti, Zn, Ba, Pb, Fe, Mo, Ca, Al, Ma, Cd, Cr.	
----------	-----------------------------------------	----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	------------------------------------------------------------------------------------

## II.4 Utilisation et application des colorants

Les teintures sont largement utilisées dans de vastes secteurs industriels tels que la fabrication de textiles, le tannage du cuir, les cosmétiques, le papier, la transformation des aliments et l'industrie pharmaceutique. [48]

L'utilisation d'une matière colorante doit répondre à un certain nombre de critères [49] :

- ✓ Résistance à l'abrasion,
- ✓ Stabilité photolytique des couleurs,
- ✓ Résistance à l'oxydation chimique et aux attaques microbiennes.

Les grands domaines d'application des colorants sont les suivants [49] :

- ✓ Dans l'industrie textile de la fourrure, du cuir (textile à usage vestimentaire, de décoration, de bâtiment, de transport, textile à usage médicale...),
- ✓ Dans l'industrie de matières plastiques (pigments),
- ✓ Dans l'industrie du bâtiment : peintures (pigment),
- ✓ Dans l'industrie pharmaceutique (colorants),
- ✓ Dans l'industrie des cosmétiques,
- ✓ Dans l'industrie agroalimentaire (colorants alimentaires),
- ✓ Dans l'industrie (encre, papier),

## II.5 L'impact des rejets textiles sur l'environnement

Actuellement, les rejets de l'industrie du textile sont lourdement chargés en colorants. Ces derniers sont souvent utilisés en excès pour améliorer la teinture ; de ce fait les eaux de rejet se trouvent fortement concentrées en colorants dont la faible biodégradabilité rend les traitements biologiques difficilement applicables, ce qui constitue une source de dégradation de l'environnement. Plusieurs techniques ont été employées pour l'élimination des colorants des effluents industriels. [45]

## **II.6 Toxicité des colorants**

### **II.6.1 Les dangers à court terme**

#### **II.6.1.1 Eutrophisation**

Sous l'action des microorganismes, les colorants libèrent des nitrates et des phosphates dans le milieu naturel. Ces ions minéraux introduits en quantité trop importante peuvent devenir toxiques pour la vie piscicole et altérer la production d'eau potable. Leur consommation par les plantes aquatiques accélère leur prolifération anarchique et conduit à l'appauvrissement en oxygène par inhibition de la photosynthèse dans les strates les plus profondes des cours d'eau et des eaux stagnantes. [50]

#### **II.6.1.2 Sous-oxygénation [51]**

Lorsque des charges importantes de matière organique sont apportées au milieu via des rejets ponctuels, les processus naturels de régulation ne peuvent plus compenser la consommation bactérienne d'oxygène. Manahan estime que la dégradation de 7 à 8 mg de matière organique par des microorganismes suffit pour consommer l'oxygène contenu dans un litre d'eau.

#### **II.6.1.3 Couleur-turbidité, odeur**

L'accumulation des matières organiques dans les cours d'eau induit l'apparition de mauvais goûts, de prolifération bactérienne, d'odeurs pestilentielles et de colorations anormales. Willmott et al. (1998) ont évalué qu'une coloration pouvait être perçue par l'oeil humain à partir de  $5 \times 10^{-6} \text{ g.L}^{-1}$ . En dehors de l'aspect inesthétique, les agents colorants ont la capacité d'interférer avec la transmission de la lumière dans l'eau, bloquant ainsi la photosynthèse des plantes aquatiques. [52,32]

### **II.6.2 Les dangers à long terme**

#### **II.6.2.1 La persistance**

Les colorants organiques synthétiques, en particulier azoïques, sont des composés très résistants à la dégradation biologique naturelle. [53]

Cette persistance est en étroite relation avec leur réactivité chimique [32] :

- Les composés insaturés sont moins persistants que les saturés ;
- Les alcanes sont moins persistants que les aromatiques ;
- La persistance des aromatiques augmente avec le nombre de substituants ;

- Les substituants halogènes augmentent la persistance des colorants tels que les groupements alkyles.

### II.6.2.2 Bioaccumulation

Si un organisme ne dispose pas de mécanismes spécifiques, soit pour empêcher la résorption d'une substance telle qu'un colorant, soit pour l'éliminer une fois qu'elle est absorbée, alors cette substance s'accumule. Les espèces qui se trouvent à l'extrémité supérieure de la chaîne alimentaire, y compris l'homme, se retrouvent exposées à des teneurs en substances toxiques pouvant être jusqu'à mille fois plus élevées que les concentrations initiales dans l'eau. [32]

### II.6.2.3 Cancer

Si la plupart des colorants ne sont pas toxiques directement, une portion significative de leurs métabolites l'est [54]. Leurs effets mutagènes, tératogènes ou cancérigènes apparaissent après dégradation de la molécule initiale en sous-produits d'oxydation amine cancérigène pour les azoïques, leuco-dérivé pour les Triphénylméthanés. [50]

### II.6.2.4 Sous-produit de chloration

Le chlore utilisé pour éliminer les microorganismes pathogènes réagit avec la matière organique pour former des trihalométhanes pouvant atteindre plusieurs centaines de mg/L. Ils sont responsables de développement de cancer du foie, des poumons, des reins et de la peau chez l'homme. [55,44]

## III. Méthodes d'élimination des colorants textiles [56]

Des exigences rigoureuses pour le traitement d'effluents contenant des colorants textiles, ont conduit à la recherche de molécules moins coûteuses pour réduire leurs quantités dans les rejets. Ces techniques sont actuellement bien maîtrisées à l'échelle du laboratoire et souvent appliquées à grande échelle incluant les méthodes de traitement physiques (adsorption, les technologies membranaires et les procédés de séparation solide-liquide : précipitation, coagulation, floculation et décantation), chimiques (résine échangeuse d'ions, oxydation,) et biologiques (traitement aérobie et anaérobie). Ces méthodes sont utilisées dans différentes filières de traitement et de récupération des colorants issus en majorité des rejets industriels.

### **III.1 Procédés biologiques**

Les procédés d'épuration par voie biologique sont basés sur la biotransformation microbienne des colorants. Des recherches ont démontré la biodégradation partielle ou complète des colorants par des cultures des bactéries, des fungi et des algues. Par ailleurs, le traitement biologique pour la dégradation des effluents textiles peut être aérobie, anaérobie ou combiné selon le type de micro-organisme utilisé. [57, 58,59]

#### **III.1.1 Traitement aérobie**

Ce procédé est resté longtemps un moyen pour dégrader un grand nombre de polluants organiques. Il s'est avéré efficace pour une certaine catégorie de rejets textiles. [60] Notons cependant que des colorants tels que les azoïques, les colorants acides et les colorants réactifs se sont révélés persistants et résistent à ce mode de traitement. La décoloration observée dans ces cas n'est attribuée qu'à l'adsorption de ces polluants sur la boue activée et non à leur dégradation. [61]

#### **III.1.2 Traitement anaérobie**

Ce procédé utilisé sur les boues résiduaire des stations d'épuration des eaux permet de produire des quantités importantes en méthane. Ce dernier est utilisé comme source d'énergie notamment pour le chauffage ou pour l'éclairage. Des études ont montré que la réduction, voire la disparition, de la couleur n'est pas accompagnée de la minéralisation des colorants. La formation de composés intermédiaires plus toxiques, notamment des amines a été signalée dans la littérature. Venceslau et al. ont estimé la réduction de coloration par les procédés biologiques à seulement 10-20 %. Cette constatation laisse à présager d'autres techniques qui permettraient d'abaisser le degré de réfractabilité de la charge polluante en association avec les méthodes biologiques. [62,61]

### **III.2 Procédés chimiques**

Ces procédés s'appliquent aux colorants en faible concentration et qui résistent aux traitements de biodégradation. L'oxydation et la réduction sont les méthodes chimiques les plus connues. Les réactifs les plus utilisés pour le traitement d'oxydation sont  $H_2O_2$ ,  $O_2$ ,  $O_3$ ,  $Cl_2$ ,  $NaOCl$  et  $MnO_4$ , et pour la réduction, le  $Na_2S_2O_4$ . L'oxydation chimique conduit à la destruction ou la décomposition de la molécule du colorant. Il a été observé que



l'oxydation chimique avec l'un de ces oxydants n'est pas toujours efficace pour le traitement des polluants organiques persistants, et les colorants dispersés. Dans ce cas, on fait appel aux procédés d'oxydation avancée. [63]

### III.3 Procédés physico-chimique

#### III.3.1 Coagulation-Floculation

Cette technique de traitement physico-chimique est utilisée pour enlever davantage la DCO et la couleur avant un traitement biologique. Ce procédé est basé sur l'addition d'un coagulant qui avec les polluants organiques forme des floccs. Ces floccs sont ensuite éliminés par décantation et filtration. [63]

C'est un procédé de traitement d'un effluent par ajout d'un coagulant dont les plus utilisés sont [64] :

- le sulfate d'aluminium  $Al_2(SO_4)_3$  ;
- l'aluminate de sodium  $NaAlO_2$  ;
- le chlorure ferrique  $FeCl_3$  ;
- le sulfate de fer  $FeSO_4$ .

Cette technique permet de réduire les éléments polluants qui sont électriquement chargés et/ou neutres et adsorbés par les particules colloïdales qui sont en suspension dans l'eau ce traitement permet ainsi l'agglomération de ces particules et conduit par la suite aux phénomènes de floculation puis de précipitation. [64]

#### III.3.2 Filtration membranaire [63]

Les différentes techniques de filtration peuvent être appliquées comme procédés principaux ou après traitement pour la séparation et la purification des effluents colorés.

- ❖ L'osmose inverse et la nanofiltration peuvent enlever les colorants réactifs hydrosolubles ;
- ❖ La microfiltration retient les matériaux colloïdaux tels que les colorants dispersés ou de cuve grâce à une membrane écran ;
- ❖ L'ultrafiltration s'applique à la réduction de la DCO et des solides en suspension, et ne se montre réellement efficace qu'en prétraitement ou en combinaison avec d'autres traitements.

### **III.3.3 Phénomène d'adsorption**

L'adsorption est un procédé largement employé dans l'industrie et notamment dans le traitement des eaux usées et le raffinage des huiles alimentaires. Ce procédé permet de retenir les polluants présents en phase fluide ou encore pour récupérer les éléments précieux solubles dans la phase liquide. [65,66]

#### **III.3.3.1 Les différents types d'adsorption**

Suivant l'importance des énergies mises en jeu, l'adsorption peut être classée en adsorption physique ou chimique.

##### **III.3.3.1.1 Adsorption physique**

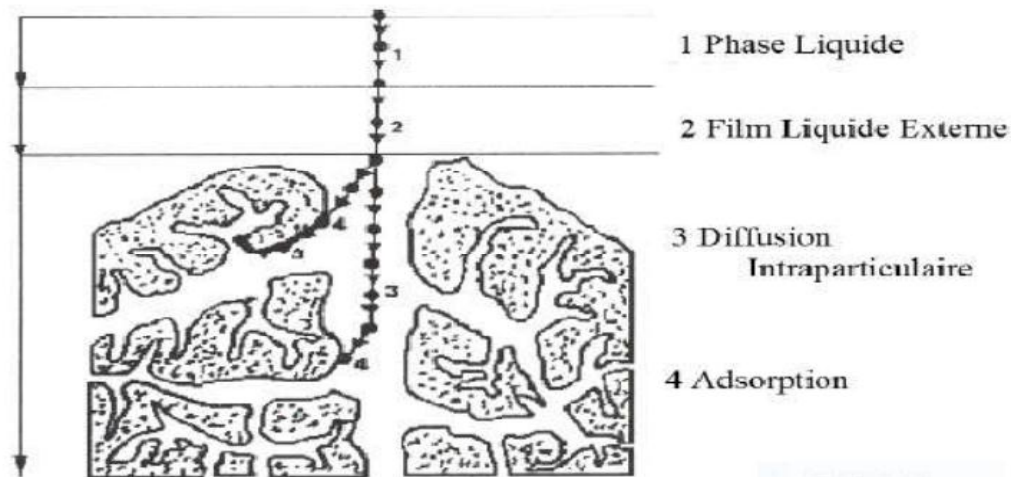
L'adsorption physique met en jeu des forces intermoléculaires de type Van Der Waals et ou liaison hydrogène entre l'adsorbant et l'adsorbat. C'est un phénomène général pouvant se produire pour tout fluide se trouvant en contact avec un adsorbant présentant une interface étendue. Ce processus est envisageable si les interactions adsorbat / adsorbant sont inférieures à celles adsorbant / adsorbant. Il est à un phénomène de condensation (forces intermoléculaire  $< 10$  k cal/mol d'adsorbat). [67]

##### **III.3.3.1.2 Adsorption chimique**

Elle résulte d'une interaction chimique entre les molécules d'adsorbant composant la surface du solide et les molécules de soluté. Ces forces attractives de nature chimique provoquent un transfert ou solide et les molécules de soluté. Ces forces attractives de nature chimique provoque un transfert ou mise en commun d'électrons et en conséquence, destruction de l'individualité des molécules et formation d'un composé chimique à la surface de l'adsorbant. Ce type d'adsorption se développe à haute température et met en jeu une énergie de transformation élevée. [68]

##### **III.3.3.2 Description du mécanisme d'adsorption**

L'adsorption se produit principalement en quatre étapes. La figure I.8 représente un matériau (adsorbant) avec les différents domaines dans lesquels peuvent se trouver les molécules organiques ou inorganiques qui sont susceptibles de rentrer en interaction avec le solide. [69]



**Figure I.8.** Domaines d'existence d'un soluté lors de l'adsorption sur un matériau microporeux. [70]

Avant son adsorption, le soluté va passer par plusieurs étapes [69] :

- 1)- Diffusion de l'adsorbât de la phase liquide externe vers celle située au voisinage de la surface de l'adsorbant.
- 2)- Diffusion extragranulaire de la matière (transfert du soluté à travers le film liquide vers la surface des grains).
- 3)- Transfert intragranulaire de la matière (transfert de la matière dans la structure poreuse de la surface extérieure des graines vers les sites actifs).
- 4)- Réaction d'adsorption au contact des sites actifs, une fois adsorbée, la molécule est considérée comme immobile.

### III.3.3.3 Principaux facteurs influençant sur l'adsorption

Un grand nombre de paramètres et de facteurs sont susceptibles d'avoir une influence sur le processus d'adsorption du soluté en phase liquide, desquels nous citons :

#### III.3.3.3.1 Concentration

Pour de faibles concentrations de produit a dissous, on observe en général, que le taux d'adsorption en fonction de concentration de substance dissoute suit la loi de Freundlich. Cette loi ne s'applique plus à des concentrations élevées et on observe alors que

fréquemment qu'avec l'accroissement de la concentration, l'adsorption passe par un maximum, puis décroît pour devenir négative. [71]

### III.3.3.3.2 Température

L'adsorption physique s'effectue à des basses températures (phénomène exothermique), alors que l'adsorption chimique demande des températures plus élevées (phénomène endothermique). Ce qui nécessite de fixer la température du processus dès le départ. En pratique, il n'y a pas de modification significative dans l'intervalle 5-20°C. [72]

### III.3.3.3.3 pH

L'influence du pH est liée à la libération de protons  $H^+$  par le matériau et le milieu, créant ainsi de nouveaux sites d'échanges et la formation de nouvelles espèces chimiques en solution. [73]

### III.3.3.3.4 Masse de l'adsorbant

La capacité d'adsorption est d'autant plus grande que la masse de l'adsorbant dans la solution est importante. Du fait du coût élevé des adsorbants, le choix d'un rapport liquide–solide optimal est recommandé. [28]

### III.3.3.3.5 L'adsorbat

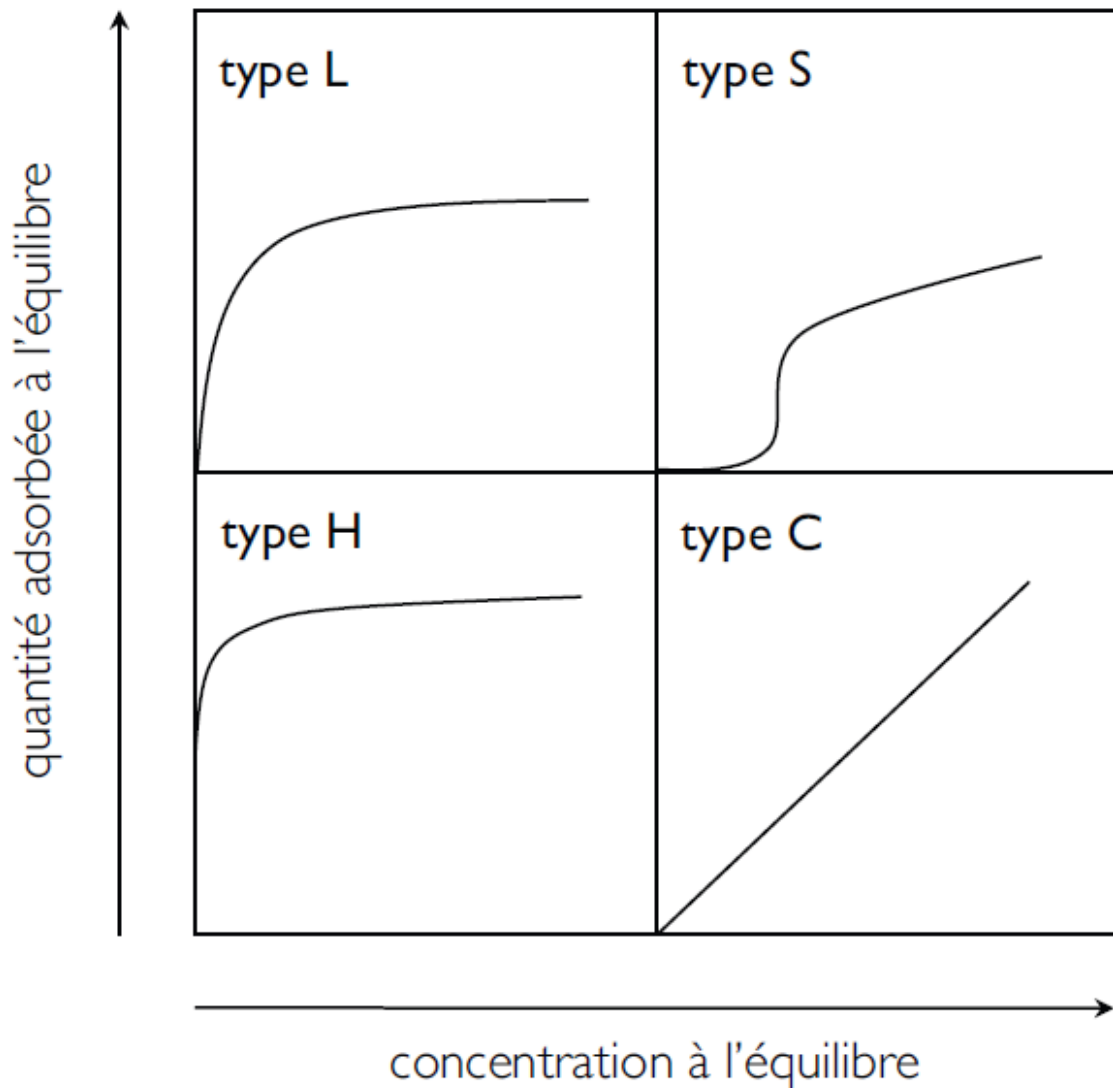
Les propriétés physico-chimiques de l'adsorbat sont déterminantes et jouent un rôle primordial lors de son adsorption sur une surface solide de l'adsorbant. La structure moléculaire est l'un des principaux paramètres qui influence la rétention des adsorbats. Plus la structure moléculaire est volumineuse plus sa rétention par certaines phases solides est difficile. Par ailleurs, l'adsorption des solutés est conditionnée par la composition de la solution puisqu'en présence simultanée de plusieurs espèces génère une concurrence vis-à-vis des sites d'adsorption surtout pour celles qui possèdent une structure similaire. [28]

### III.3.3.4 Modèles d'isothermes d'adsorption

L'isotherme d'adsorption exprime la quantité adsorbée par unité de masse de l'adsorbant ( $Q_e$ ) en fonction de la concentration dans la phase liquide à l'équilibre ( $C_e$ ). L'IUPAC a répertorié cinq types d'isothermes dans le cas de l'adsorption de molécules en phase gaz. [74] Tandis que Giles et Smith (1974) ont répertorié quatre dans le cas de l'adsorption de

molécules en phase liquide : les isothermes de type L, S, C et H dont les allures sont présentées à la Figure I.9. [75]

Les isothermes les plus communes sont les isothermes de type L et H. Elles sont souvent modélisées par les modèles de Langmuir et Freundlich.



**Figure I.9.** Classification des allures des isothermes d'équilibre d'adsorption selon leur allure.

Le calcul de la capacité maximale d'adsorption est effectué à partir de modèles mathématiques élaborés par Langmuir, Freundlich, Dubinin Redushkevich, Temkin, Frumkin,.... etc.

$Q_e$  est le paramètre retenu par Langmuir en vue de quantifier la capacité maximale d'adsorption d'un matériau. Compte tenu de ce modèle de Langmuir est l'un des plus utilisés,  $Q_e$  a été retenu dans cette étude en tant que paramètre indicateur de la performance épuratoire des biosorbants. Sur cette base, le matériau le plus performant est celui qui présente la plus forte capacité maximale d'adsorption. La capacité d'adsorption dépend fortement des caractéristiques de l'adsorbant utilisé.

En général, la concentration de l'adsorbat retenue par l'adsorbant est calculée par la différence entre la concentration initiale du soluté  $C_0$  et la concentration finale du soluté  $C$ . La quantité du soluté adsorbé à l'équilibre  $Q_e$  est donnée par l'équation suivante [76] :

$$Q_e = \frac{V.(C_0 - C_e)}{m} \quad \text{Equation 1}$$

Avec :

$Q_e$  : quantité de soluté adsorbé par unité de masse d'adsorbant à l'équilibre (mg/g ou mmol/g),

$C_0$  : concentration initiale de l'adsorbat (mg/L ou mmol/L),

$C_e$  : concentration à l'équilibre d'adsorbat dans la phase liquide (mg/L ou mmol/L),

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

$m$  : masse d'adsorbant (g).

L'équilibre est généralement représenté sous forme graphique. De nombreux modèles théoriques ont été développés pour décrire l'allure de ces courbes dont les plus utilisées sont les isothermes de Langmuir, de Freundlich et BET (modèle de Brunauer, Emmett et Teller). [71]

### III.3.3.4.1 Modèle de Freundlich : [77]

Le modèle de Freundlich est un modèle semi empirique qui permet de modéliser des isothermes d'adsorption sur des surfaces hétérogènes (dont les sites d'adsorption ne sont pas tous équivalents). Ce modèle est uniquement utilisable dans le domaine de faible concentration car il n'a pas de limite supérieure pour les fortes concentrations ce qui est

contradictoire avec l'expérience. L'expression mathématique associée à ce modèle est donnée par l'équation (2).

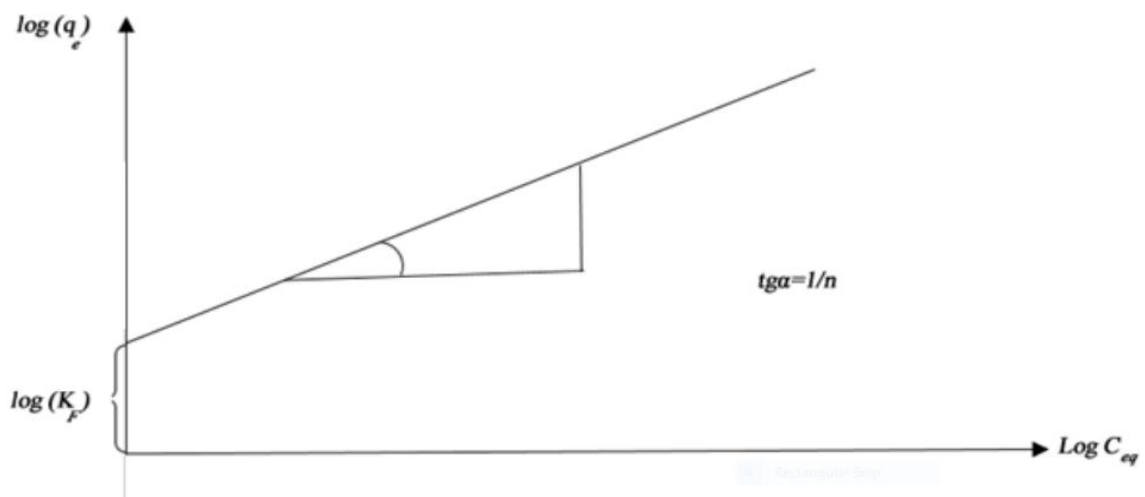
La constante  $K_f$  est égale à la valeur de  $Q_e$  lorsque la concentration à l'équilibre est égale à 1. Le modèle de Freundlich implique que la distribution d'énergie pour les sites d'adsorption est exponentielle. Ce modèle ne suppose pas que, lorsque la concentration augmente, le recouvrement de surface approche une valeur limite correspondant à une monocouche complète. Il est utilisé les eaux de rejet.

La représentation de  $\log Q_e$  en fonction de  $\log C_{qe}$  est une droite de pente  $1/n$  et d'ordonnée à l'origine  $\log K_f$ .  $K_f$  et  $n$  sont des constantes qu'il faut déterminer pour chaque couple adsorbant/adsorbat à chaque température.

$$Q_e = K_f.(C_{qe})^{1/n} \quad \text{Equation 2}$$

- $Q_e$  : quantité de substance adsorbée par unité de masse de l'adsorption.
- $C_{eq}$  : concentration à l'équilibre de la substance dissoute dans la solution.
- $K_f$  : constante de Freundlich correspondante à l'énergie d'adsorption.
- $n$  : constantes  $n$ , a une valeur supérieure à 1, en général compris 2 et 10.

La représentation de  $\log (Q_e)$  en fonction de  $\log (C_{eq})$  est une droite de pente  $1/n$  et d'ordonnée à l'origine  $\log (K_f)$ .



**Figure I. 10.** Représentation graphique de l'isotherme de Freundlich.

### III.3.3.4.2 Modèle de Langmuir [78]

L'isotherme de Langmuir est un modèle d'adsorption monocouche très simple. Il considère une unique espèce issue de la solution adsorbée sur un unique adsorbant composée d'un nombre fini de sites d'adsorption. La relation connue sous l'appellation isotherme de Langmuir est le plus souvent formulée par :

$$Q_e = (q_{\max} b C_e) / (1 + b C_e)$$

$C_e$  : concentration résiduelle du soluté à l'équilibre dans la solution (mg / l).

$Q_e$  : quantité adsorbée du soluté par unité de masse du solide à l'équilibre (mg / g).

$Q_{\max}$  : capacité maximum d'adsorption du solide (mg / g) ou capacité maximale de sorption du solide.

$b$  : constante de Langmuir est une fonction de l'énergie d'adsorption dépend de la température et croit avec la force d'interaction entre l'adsorbat et la surface de l'adsorbant (L / g) ou (dm<sup>3</sup> / g).

Cette isotherme peut être généralisée à plusieurs espèces adsorbées ou à plusieurs sites d'adsorption. L'ajustement de points expérimentaux avec une relation de type Langmuir ne signifie pas forcément que les hypothèses qui sous-tendent le modèle sont satisfaites.

Il permet malgré tout de déterminer empiriquement une capacité de sorption maximale d'une surface donnée pour une espèce donnée.

La linéarisation de l'équation du modèle de Langmuir peut s'écrire sous la forme suivante:

$$\frac{C_e}{Q_e} = \frac{1}{Q_{\max} \cdot b} + \frac{C_e}{Q_{\max}}$$

Le tracé de la courbe  $\frac{C_e}{Q_e} = f(C_e)$  permet de déterminer les valeurs de  $Q_{\max}$  et  $b$ .

### III.3.3.4.3 Modèle de Temkin [79]

Il donne la variation de l'énergie d'adsorption, une seule équation permet d'accéder à cette variation d'énergie ( $\Delta Q$ ), c'est l'équation de Temkin, (1941) formulée dans le cas de l'adsorption des gaz sur des solides et transposée à la phase liquide par, Zarrouki, (1990).

Ce modèle suppose que la chaleur d'adsorption varie linéairement avec le degré de recouvrement  $\Theta$  ( $\Theta = Q_e/Q_m$ ). Cette décroissance linéaire peut s'expliquer sur une surface



uniforme par des interactions entre molécules adsorbées. Sur une surface non uniforme, cet effet se superpose à ceux dûs à l'hétérogénéité de la surface. On a:

$$\Theta = \frac{Q_e}{Q_m} = \left(\frac{RT}{\Delta Q}\right) \ln(Ce) + \left(\frac{RT}{\Delta Q}\right) \ln(Ktem)$$

En traçant  $\frac{Q_e}{Q_m} = f(\ln Ce)$ , la pente conduit à  $\frac{RT}{\Delta Q}$  et l'ordonnée à l'origine à  $\left(\frac{RT}{\Delta Q}\right) \ln(Ktem)$ .

#### IV. Les différents types d'adsorbants

Il existe différents adsorbants soit des adsorbants naturels soit des adsorbants artificiels sont : l'argile, charbon actif, gel de silice, chitosane, zéolite, les oxydes métalliques et les complexes organométalliques...etc.

##### IV.1 Adsorbants industriels

Les adsorbants industriels ont généralement des surfaces spécifiques au-delà de 100 m<sup>2</sup>/g et pouvant même atteindre des valeurs de l'ordre du millier de m<sup>2</sup>/g. Les adsorbants industriels les plus courants sont les charbons actifs, les zéolithes, les alumines et les argiles activées.

##### IV.1.1 Charbon Actif

Le charbon actif peut être fabriqué à partir de tout matériau contenant un fort pourcentage de carbone et un faible pourcentage de matière inorganique. Ces matières premières peuvent être le bois, le charbon de bois, la noix de coco, le lignite, la tourbe, les algues ainsi que des polymères synthétiques ou résidus de procédé pétrolier. On peut également citer comme exemple de précurseurs, encore à l'étude, les résidus de la fabrication du café ou les boues activées, le charbon actif reste un matériau peu coûteux. De plus, l'utilisation de sous-produits industrielle s'inscrit dans une démarche de développement durable et de valorisation des déchets [80]

##### IV.1.2 Les alumines activées

Les alumines activées sont obtenues par thermolyse du trihydroxyde d'aluminium Al(OH)<sub>3</sub> qui conduit à un produit de composition approximative Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>,0,5 H<sub>2</sub>O, possédant une structure poreuse. La surface des pores est couverte de groupements Al-OH, et l'adsorption se fait préférentiellement par liaison hydrogène. Les alumines activées sont des adsorbants amorphes, moyennement polaires et hydrophiles. [81]

### **IV.1.3 Les argiles activées**

Les argiles activées sont des alumino-silicates de formule brute proche de celles des zéolithes, mais de structure cristalline différente. Ce sont des produits naturels, utilisés surtout pour le séchage. [81]

### **IV.1.4 Les zéolithes**

Les zéolithes sont des alumino-silicates cristallisés microporeux de formule globale  $(AlO_2M, nSiO_2)$  où M représente le plus souvent un métal alcalin ou alcalino-terreux et  $n \geq 1$ . Il existe plus de 100 espèces de zéolithes, différant par la valeur de n et la structure cristallographique. [82]

## **IV.2 Les Adsorbants naturels (Biosorbants)**

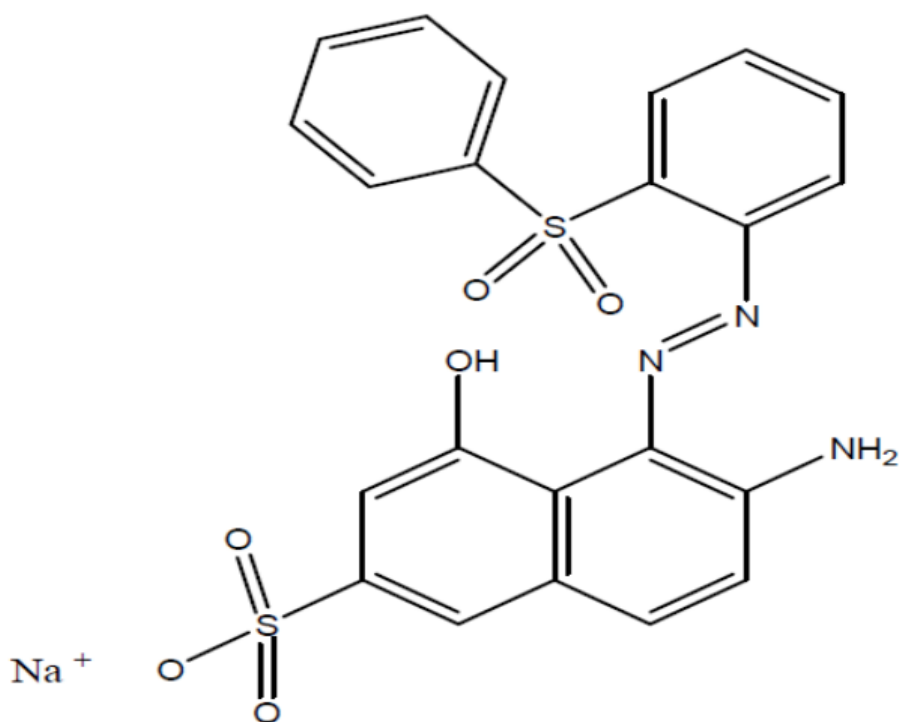
L'utilisation des bioadsorbants peu coûteux ou sans valeur commerciale pour éliminer les matières organiques des solutions aqueuses a prouvé qu'ils peuvent concurrencer les adsorbants traditionnels coûteux [82]. A ce titre, on peut citer : la pulpe d'olive traitée [83], la fougère des arbres [79], les fibres des palmiers [84], le kudzu [85], le bois ou encore la sciure de bois [86,87], déchets de thé [88].

**CHAPITRE II :**  
**PARTIE**  
**EXPERIMENTALE**

### I. Choix de molécule étudiée

Nous nous sommes intéressés à éliminer un colorant : le rouge télon lumière. Ce dernier est un colorant acide sous forme solide appartenant à la catégorie des colorants soluble dans l'eau et destiné à la teinture des textiles. Le rouge télon lumière a une formule moléculaire de  $C_{22}H_{16}N_3NaO_6S_2$  de masse moléculaire 505,4 g/mol et de solubilité dans l'eau : 20,00 g/l à 20 °C, le nom chimique est le suivant [89] :

Sel acide 2-naphthalene sulfonique, -6-amino 4-hydroxy -5- ((2-phényl sulfonyl) phényl) azo de sodium.



**Figure II. 11.** Formule développée du rouge télon lumière.

## II. Choix de l'adsorbant

Le thé est la boisson la plus consommée dans le monde. La production mondiale en 2007 était de 3,60 millions de tonnes. Avec une production et une consommation aussi importantes, une grande quantité du déchet de thé est rejetée dans l'environnement. De nos jours, les déchets de thé retiennent de plus en plus l'attention des chercheurs, car ils constituent un biosorbant très utile pour éliminer les résidus lourds. [90]

## III. Les méthodes d'analyse

Les méthodes d'analyse utilisées dans ce mémoire sont :

### III.1 Spectrophotométrie UV-visible [29]

La spectrophotométrie est une méthode analytique qui repose sur l'absorption de la lumière par les substances à analyser. En effet, la lumière étant une onde correspondant à la vibration d'un champ électromagnétique et émettant des particules d'énergie lumineuses appelées photons. Cette vibration, en se propageant, décrit une courbe présentant un maximum et un minimum. La longueur d'onde caractéristique de l'onde électromagnétique est définie par la distance séparant deux maximums ou deux minimums successifs. On distingue ainsi :

- Les rayons  $\gamma$  (de 0.005 à 0.025 nm).
- Les rayons X (de 0.025 à 100 nm).
- Les rayons UV (de 100 à 400 nm).
- La lumière Visible (de 400 à 800 nm).
- Les rayons IR (de 800 à 3000 nm).

Le principe de cette méthode est régi par la loi de Beer-Lambert.

#### III.1.1 La loi de Beer-Lambert [29]

La loi de Beer-Lambert sert à établir une relation entre l'absorbance, l'épaisseur de l'échantillon et la concentration des espèces absorbantes.

Cette relation s'écrit :  $\text{Log}_{10} (I_0 / I) = \epsilon c l$

Avec :  $\epsilon$  : Coefficient d'extinction ( $\text{mol}^{-1} \cdot \text{cm}^{-1} \cdot \text{L}$ ).

**C** : Concentration (mol/L)

**l** : Epaisseur de la cuve (cm).

**I<sub>0</sub>** : Intensité de l'énergie d'irradiation arrivant sur l'échantillon (Lumière incidente)

La loi de Beer-Lambert n'est vérifiée que si les conditions suivantes sont respectées :

- Lumière monochromatique
- Solutions très diluées
- Pas de réflexion, diffusion ou fluorescence du faisceau incident.

On appelle absorbance (A) ou densité optique, l'expression  $\log I_0/I$  ; ainsi l'équation I devient comme :  $A = \epsilon L C$

### III.1.2 Principe de la spectrophotométrie UV-visible [16]

Le principe de la spectroscopie UV- visible repose sur la transition d'un électron d'un état fondamental vers un état excité par excitation grâce à une interaction avec une onde électromagnétique. Le passage d'un état électronique à un autre état électronique d'énergie plus élevée nécessite l'absorption d'énergie sous forme de photons. Le principe du spectromètre UV/visible (Figure II. 11) consiste en une source permettant un continuum d'émission sur toute la gamme de longueur d'onde UV-visible.

Cela peut être obtenu par la combinaison de deux lampes :

- Une lampe au deutérium qui émet des longueurs d'ondes de 180 à 400 nm (UV)
- Une lampe au tungstène qui émet des longueurs d'ondes de 400 à 800 nm (Visible)

Un monochromateur permet de sélectionner les longueurs d'onde et donc de faire un balayage de la gamme en déplaçant ce monochromateur. Le faisceau de photons à la longueur d'onde sélectionnée traverse l'échantillon, puis un amplificateur permet de comparer l'intensité en sortie par rapport à l'intensité d'émission

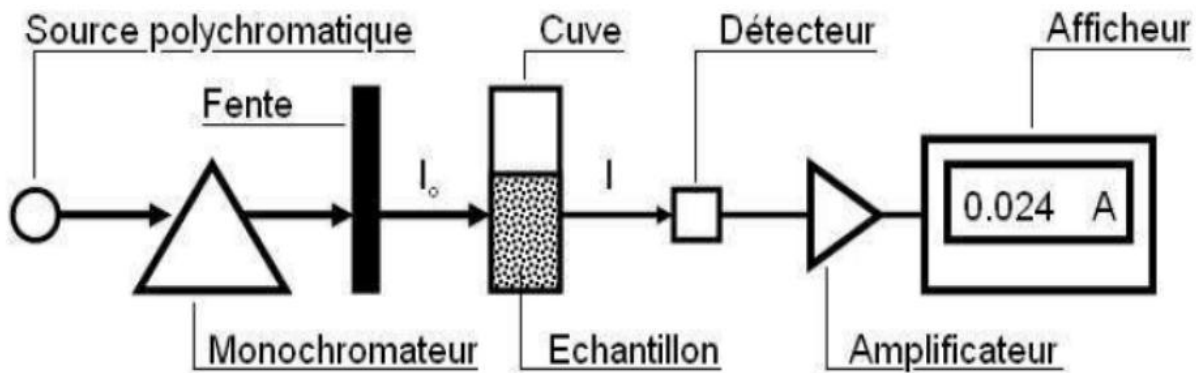


Figure II. 12. Schéma de principe du spectrophotomètre UV Visible. [16]

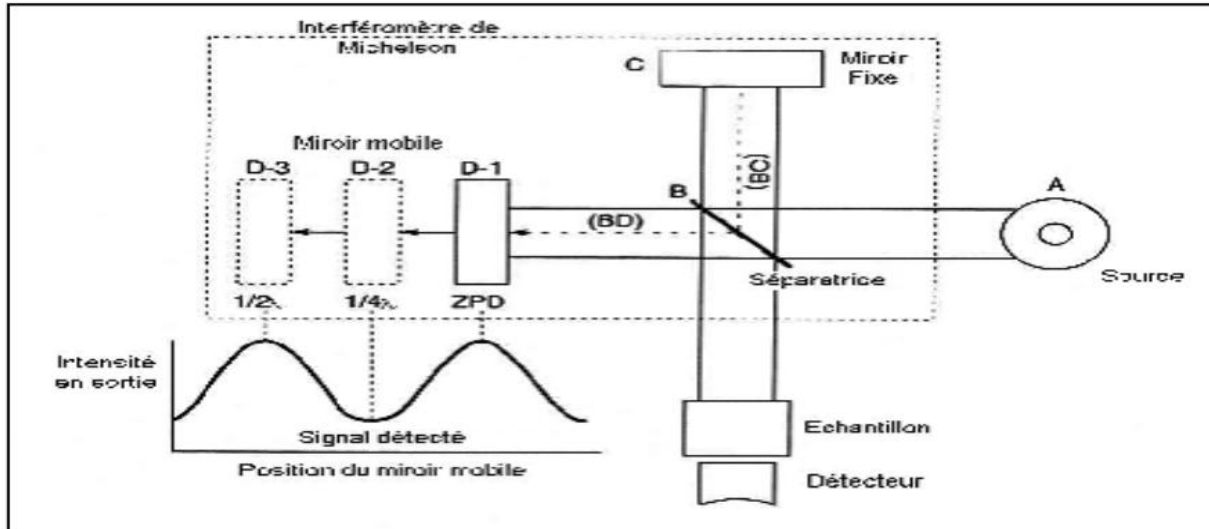
## III.2 Spectroscopie infrarouge (IR) [37]

### III.2.1 Définition

La Spectroscopie Infrarouge à Transformée de Fourier (en anglais FTIR Spectroscopy : Fourier Transformed InfraRedspectroscopy) est basée sur l'absorption d'un rayonnement infrarouge par le matériau à analyser. Elle permet la détection des vibrations caractéristiques des liaisons chimiques et identifier les fonctions chimiques présentes dans le matériau.

### III.2.2 Principe de la spectroscopie IR-TF [37]

L'analyse s'effectue à l'aide d'un spectroscope à transformée de Fourier qui envoie sur l'échantillon un rayonnement infrarouge et mesure les longueurs d'onde aux quelles le matériau absorbe et les intensités de l'absorption. La Figure II.12 : décrit le schéma d'un spectroscope à transformée de Fourier.



**Figure II.13.** Schéma du principe du spectromètre à transformée de Fourier.

Le faisceau infrarouge provenant de la source A est dirigé vers l'interféromètre de Michelson qui va moduler chaque longueur d'onde du faisceau à une fréquence différente. Dans l'interféromètre, le faisceau lumineux arrive sur la Séparatrice. La moitié du faisceau est alors dirigée sur le miroir fixe, le reste passe à travers la séparatrice et est dirigé sur le miroir mobile. Quand les deux faisceaux se recombinent, des interférences destructives ou constructives apparaissent en fonction de la position du miroir mobile. Le faisceau modulé est alors réfléchi des deux miroirs vers l'échantillon où des absorptions interviennent. Le faisceau arrive ensuite sur le détecteur pour être transformé en signal électrique. Par conséquent, à un matériau de composition chimique et de structure donnée va correspondre un ensemble de bandes d'absorption caractéristiques permettant d'identifier le matériau.

#### IV.1 Les produits utilisés

Les produits chimiques utilisés Pour la réalisation de la partie expérimentale sont :

- Les déchets de thé comme un support naturelle pour l'adsorption du colorant ;
- Le colorant du rouge télon lumière ;
- Des produits chimique comme : hydroxyde de sodium (NaOH), l'acide chlorhydrique (HCl) pour l'ajustement de pH des solutions ; \* nitrate de potassium (KNO<sub>3</sub>), l'acide nitrique (HNO<sub>3</sub>), pour la détermination du point de charge nul (pH<sub>PCN</sub>).



## **IV.2. Le matériel**

### **IV.2.1 Appareillage électrique**

Le matériel utilisé dans ce travail est :

- pH mètre (modèle HANNA) ;
- Spectrophotomètre UV visible (Agilent Technologie Cary 60 UV-Vis) ;
- Balance (modèle KERN) ;
- La spectroscopie infrarouge (IR) ;
- L'étuve (Mettler GmbH+Co.KG D-91126Schwabach FRG) .

## **V. Les modes opératoires**

### **V.1 Préparation de l'adsorbant (déchets de thé)**

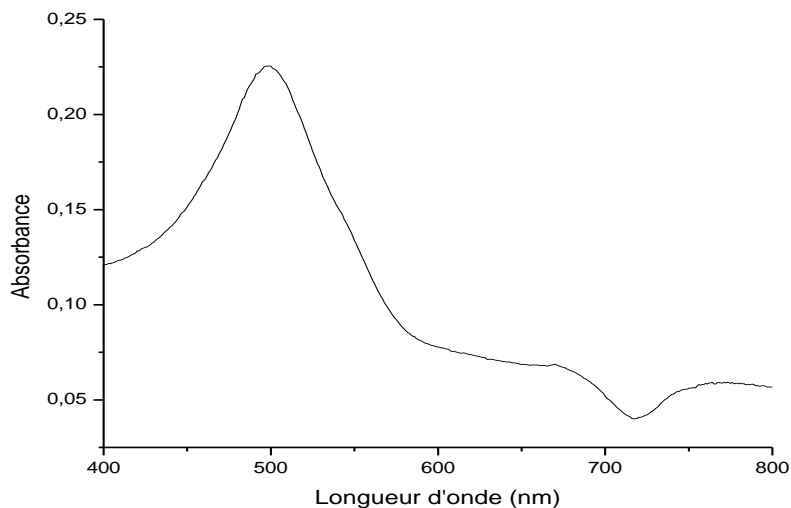
Les déchets de thé utilisés dans l'enquête actuelle comme adsorbant ont été recueillis auprès des ménages. La poussière de thé mise au rebut après utilisation est appelée déchets de thé. Les matériaux collectés ont ensuite été lavés avec Eau du robinet et de l'eau distillée plusieurs fois pour enlever toutes les particules de saleté. Il a ensuite été bouilli avec de l'eau distillée pour éliminer la caféine, tanin et d'autres colorants et lavé avec de l'eau distillée jusqu'à ce que l'eau de lavage ne contient pas de couleur. Les matériaux lavés sont ensuite séchés à 85 °c pendant 16 h. Les matériaux secs ont ensuite été broyés et tamisés (en utilisant un écran avec un maillage de taille (1mm)).et stockés dans des bouteilles pour des utilisations. [91]

### **V.2 Préparation des solutions du colorant**

Nous avons préparé une solution mère dont la concentration est de 200 mg/l. A partir de cette solution on prépare les solutions filles.

### V.3 Détermination $\lambda_{\max}$ du colorant

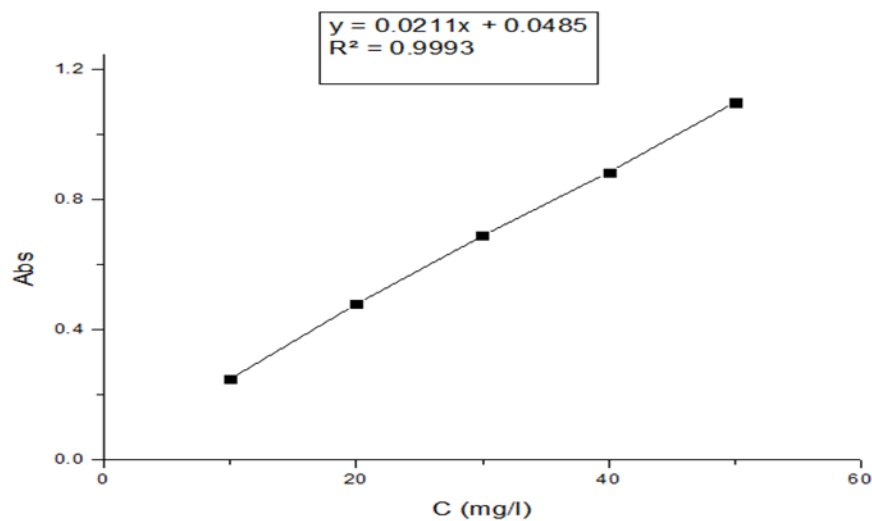
Pour déterminer  $\lambda_{\max}$  du colorant utilisé nous avons tracé l'absorbance en fonction de  $\lambda$ , les résultats obtenus sont représentés sur la Figure II.14.



**Figure II. 14.** Détermination de  $\lambda_{\max}$  du rouge télon lumière.

La Figure II. 14 montre que la longueur d'onde d'adsorption maximale du rouge télon lumière est 499 nm.

### V.4 Détermination de la courbe d'étalonnage



**Figure II. 14.** Courbe d'étalonnage du rouge télon lumière.

L'équation de la droite est :  $A = 0.0211 C$

C : concentration (mg/l) ; A : absorbance

Elle nous donne, par ailleurs, un coefficient  $R^2$  de l'ordre de 0,9993, ce qui nous permet de l'utiliser en minimisant les erreurs de lectures et de manipulation.

### V.5 Préparation du mélange colorant- déchet de thé

On met une quantité d'adsorbant dans les solutions du colorant préparées, le mélange est soumis à une agitation magnétique pendant 50min pour assurer un meilleur contact Le mélange est filtré à l'aide d'un papier filtre. A l'équilibre, on mesure la concentration des solutions décolorées par un spectrophotomètre UV-visible en utilisant l'eau distillée comme blanc à la longueur d'onde qui correspond à l'absorbance maximale du colorant (Rouge Téton Lumière)  $\lambda_{\max} = 499 \text{ nm}$ . La quantité adsorbée à l'équilibre  $Q_e$  (mg/g) est exprimée par la relation :

$$Q_e = \frac{V \cdot (C_0 - C_e)}{m}$$

Où :

$C_0$  : la concentration initiale du colorant (mg/l),

$C_e$  : la concentration du colorant après l'adsorption (mg/l),

V : le volume de la solution (l),

m : la masse de l'adsorbant utilisé (g).

### V.6 Détermination du point de charge nulle du biosorbant

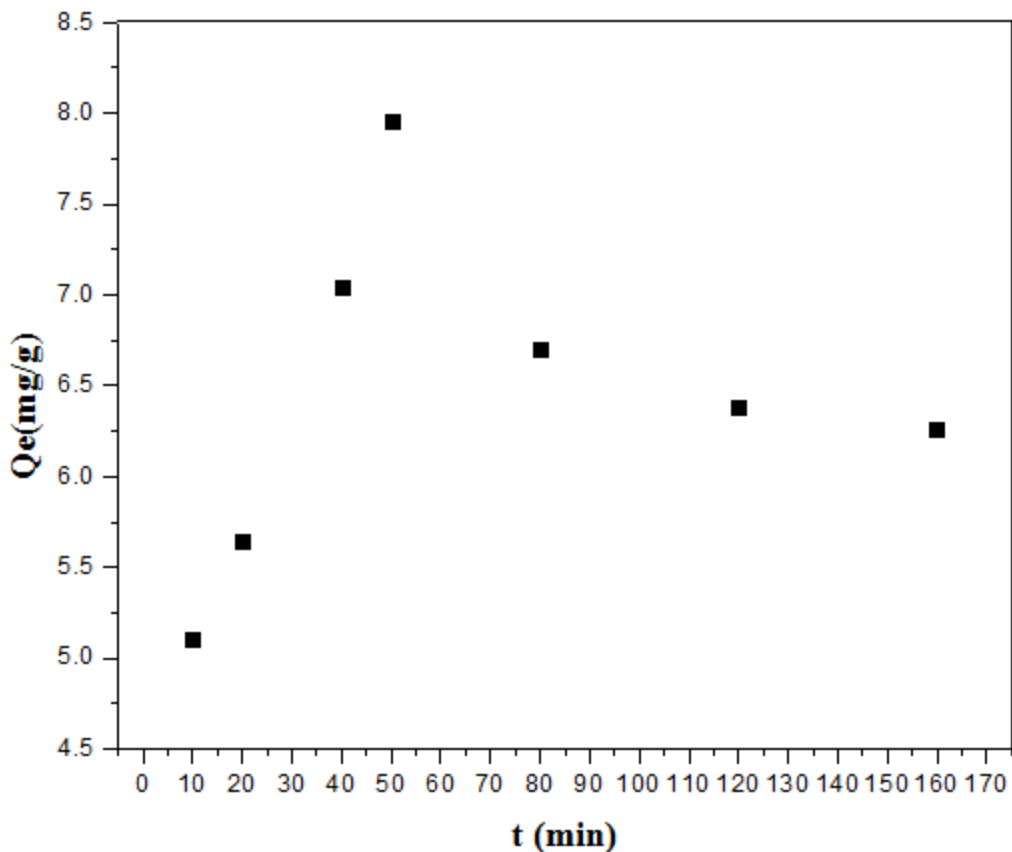
Pour déterminer le pH du point de charge nulle, la méthode de la première bissectrice a été utilisée. Cette méthode consiste à préparer des solutions de chlorure de sodium (NaCl) 0,1 M à pH de 2, 4, 6, 8, 10. Les valeurs du pH ont été ajustées avec un pH-mètre en utilisant des solutions de  $\text{KNO}_3$  et de  $\text{HNO}_3$ . 0,2 g du déchet de thé a été mis en contact avec 50 ml de chaque solution par échantillon. Le mélange est mis sous agitation magnétique pendant 24h. Ensuite, la suspension a été filtrée à travers un filtre en papier et le pH du filtrat a été mesuré pour chaque mélange. Ainsi, en trace la courbe  $\text{pH}_i - \text{pH}_f = f(\text{pH}_i)$ . Le point d'intersection entre la courbe et la droite d'équation  $y = 0$  indique le pH au point de charge. [92]

**CHAPITRE III :**  
**RESULTATS ET**  
**DISCUSSIONS**

## I. Caractérisation par UV-visible

Dans cette partie nous allons étudier l'effet des paramètres tels que : le temps de contact et, le pH, la concentration initiale et la masse d'adsorbant sur l'adsorption du colorant par le support déchet de thé.

### I.1 Effet du temps de contact



**Figure III.16.** Effet du temps de contact sur l'adsorption du rouge télon lumière  
( $m = 200$  mg ;  $V = 50$  ml ;  $C = 50$  mg/l ;  $T = 25 \pm 1$  °c).

La variation de la quantité du rouge télon lumière adsorbée en fonction du temps de contact est illustrés dans la Figure III.16. On observe une augmentation de la quantité d'adsorption avec le temps, Jusqu'au  $t = 50$  min, et la quantité du colorant adsorbé par le déchet de thé est d'environ

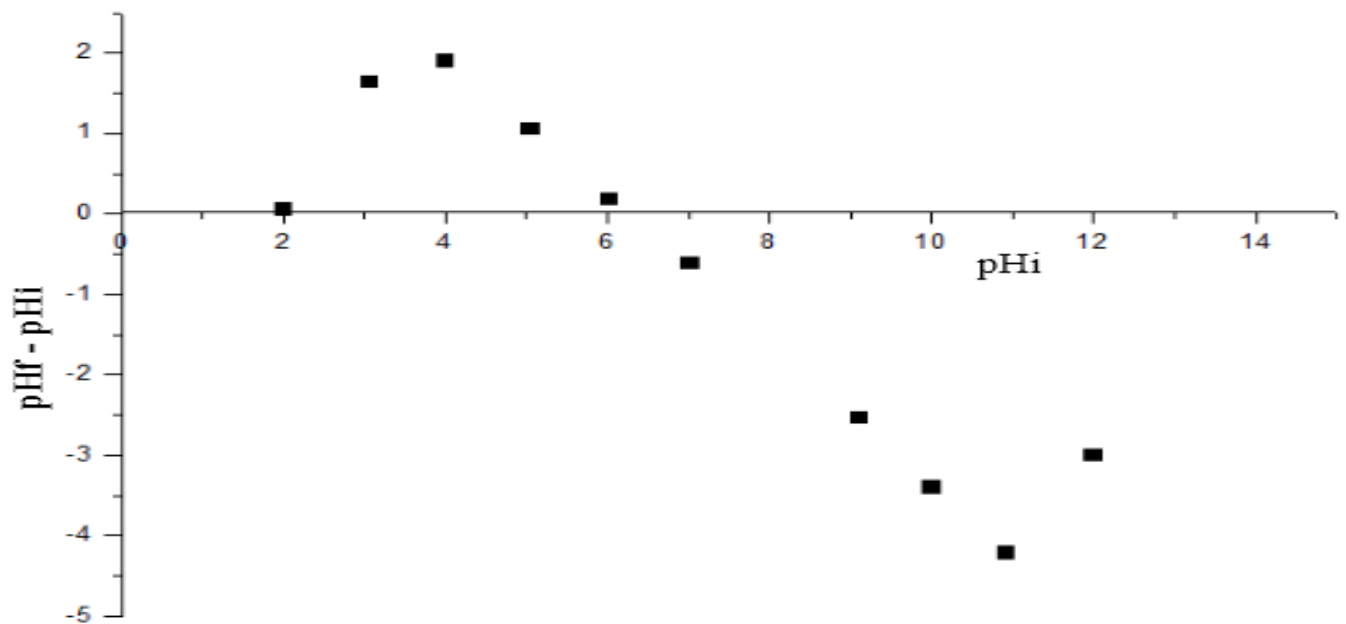
7.960 mg/g, celle-ci va diminuer après 50min pour prendre une valeur semi-constante environ 6 mg/g.

L'adsorption est rapide pendant les premières minutes de la réaction, ceci peut être interprété par le fait qu'en début d'adsorption, le nombre des sites actifs disponibles à la surface de la biosorbant, sont beaucoup plus importants que celui des sites restant après un certain temps [93]. Pour les temps de contact élevée la molécule elle besoin de temps pour diffuser à l'intérieur du pore de la biosorbant [94], pour le reste de la quantité non adsorbée est interprété par la saturation de la surface de la biosorbant (tous les sites d'adsorption sont occupés).

En conclusion le temps optimal considéré dans cette étude est d'environ 50 min

## I.2 Effet du pHi

### I.2.1 Détermination du point de charge nulle de biosorbant (déchet de thé)

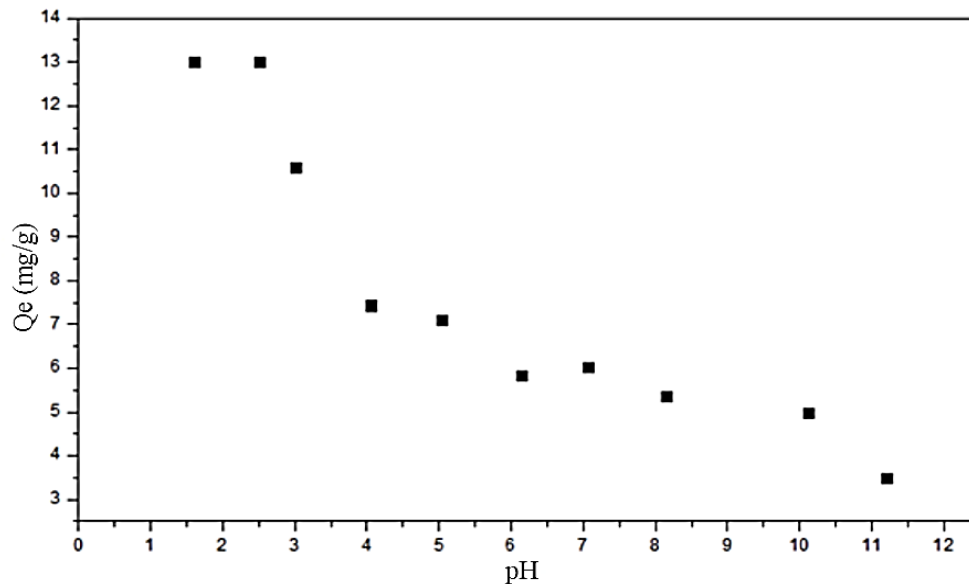


**Figure III.17.** Courbe de point de charge nulle de déchet de thé.

( $m=200$  mg ;  $V= 50$  ml ;  $C = 50$  mg/l ;  $t = 24$ h ;  $T = 25 \pm 1^\circ\text{c}$ ).

La Figure III.17 montre que le point de charge nulle du déchet de thé est égal à 6,2. A pH < 6,2 la charge de surface du déchet de thé est globalement positive et à pH > 6,2, la charge de surface est négative. [95]

### I.2.2 Détermination de pH optimale

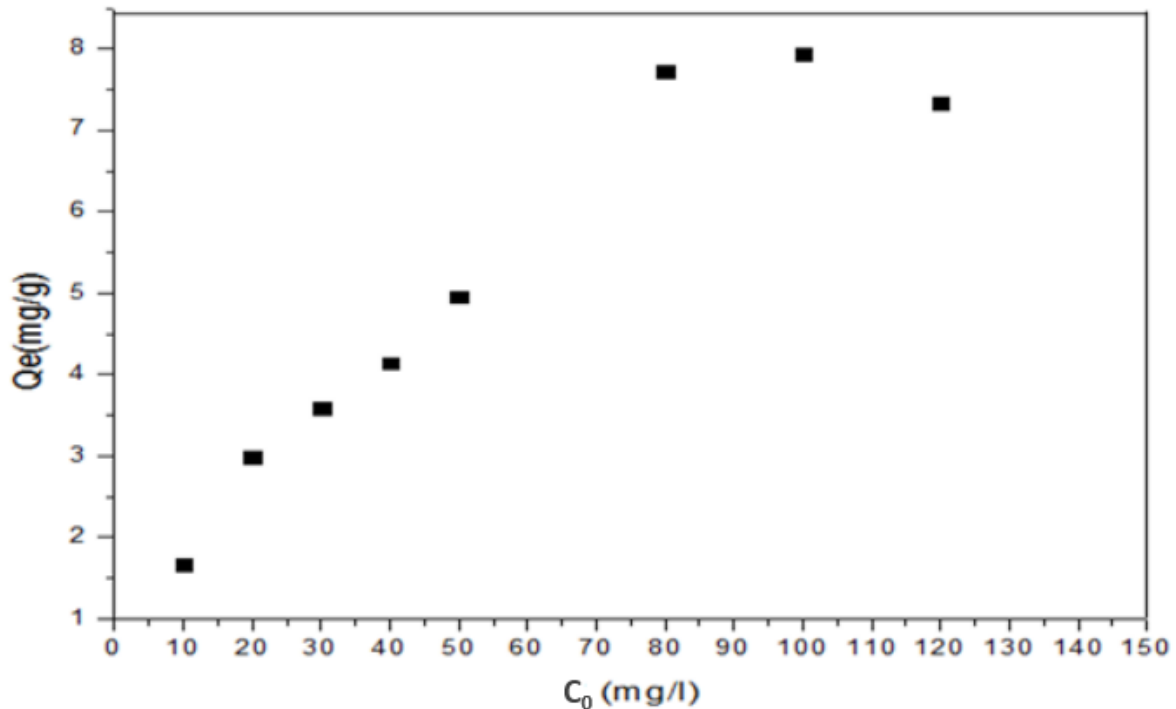


**Figure III.18.** Effet du pH sur l'adsorption du rouge télon lumière  
(m=200 mg ;V= 50 ml ; C = 50 mg/l ; t = 50 min ; T = 25 ± 1°C).

La Figure III.18 montre l'effet du pH sur la biosorption du rouge télon lumière, on observe que le maximum d'adsorption est obtenu à pH = 3. La quantité d'adsorption diminue avec l'augmentation de pH, la quantité d'adsorption du colorant égale à 13.007 mg/g pour pH=3, celle-ci diminue à 3.492 mg/g pour pH 11.2 cela peut être expliqué par le fait qu'à pH acide le processus d'adsorption du colorant par les déchets de thé est une interaction de type électrostatique. Les groupes amines du biosorbant protonés interagissent avec les groupes anioniques du colorant. A pH élevé, les ions (OH<sup>-</sup>) présentent concurrentiellement les groupes anioniques (SO<sub>3</sub><sup>-</sup>) pour les sites d'adsorption du déchet de thé, ainsi les sites d'adsorption disponibles pour le rouge télon lumière diminuent. [89]

En conclusion le pH optimal considéré dans cette étude est 3.

### I.3 Effet de la concentration initiale du colorant



**Figure III.19.** Effet de la concentration initiale du colorant sur l'adsorption

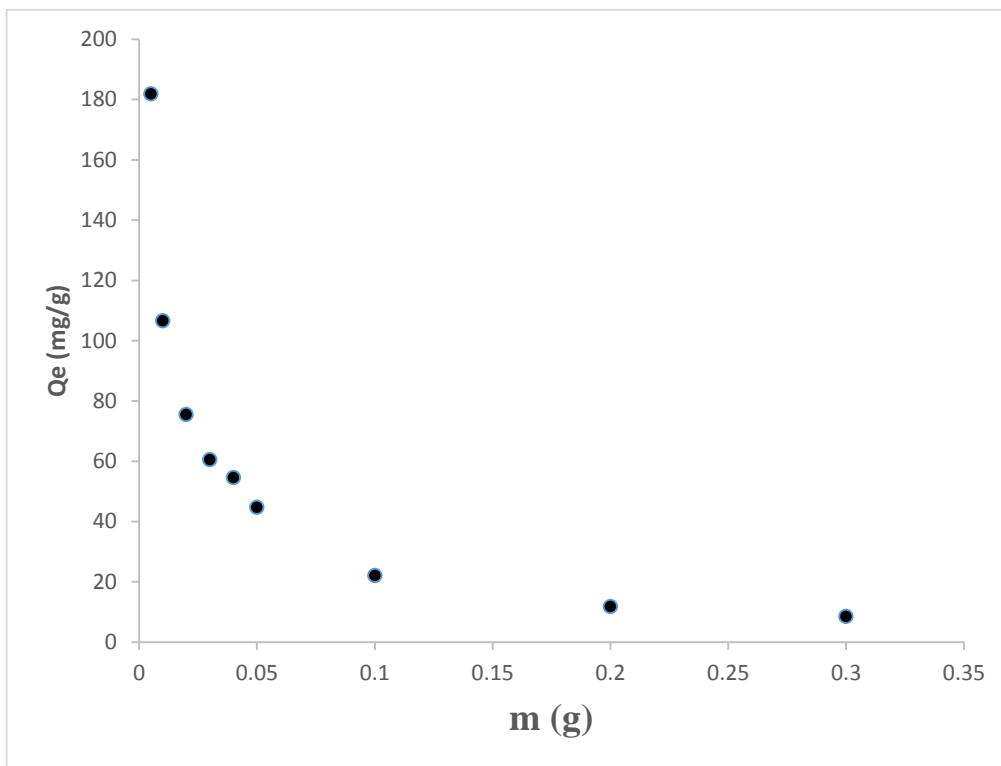
( $m = 200$  mg ;  $V = 50$  ml ;  $pH = 3$  ;  $t = 50$  min ;  $T = 25 \pm 1$  °c).

La Figure III.19 montre l'effet de la concentration initiale du colorant (rouge télon lumière) sur la biosorption. Les résultats montrent que la capacité d'adsorption augmente avec l'augmentation de la concentration initiale du colorant. Au-delà d'une concentration de 80 mg/l, on observe un palier dû à la saturation des sites actifs de biosorbant en présence d'une teneur élevée en colorant, cette caractéristique de sorption indique que la saturation de la surface dépend de la concentration initiale en rouge télon lumière. À faible concentrations, les sites de sorption fixent rouge télon lumière rapidement. Mais à des concentrations plus élevées, le rouge télon lumière nécessaires pour diffuser à la surface de la biomasse (déchet de thé) par diffusion intraparticulaire et fortement hydrolysés se diffusera à un rythme plus lent d'où le taux de sorption réduit. [96]

En conclusion la concentration optimale considérée dans cette étude est 80 mg/l



#### I.4 Effet de la quantité d'adsorbant



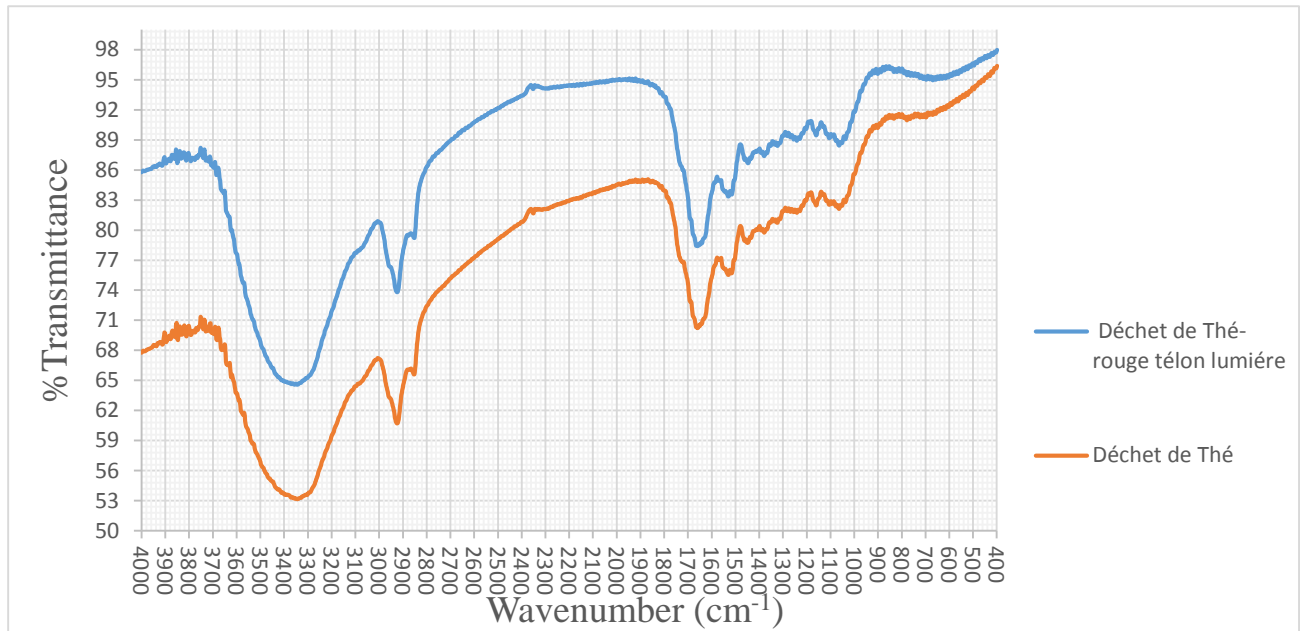
**Figure III. 20.** Effet de la masse sur l'adsorption du rouge télon  
( $C = 80 \text{ mg/l}$  ;  $V = 50 \text{ ml}$  ;  $t = 50 \text{ min}$  ;  $\text{pH} = 3$  ;  $T = 25 \pm 1^\circ\text{C}$ ).

L'effet du dose de biosorbant sur la biosorption du rouge télon lumière est illustré à la Figure III. 20. On voit bien que la biosorption du rouge télon lumière a diminuée de 181.990 (mg / g) à 8.544 (mg / g) avec l'augmentation de la dose de biosorbant de 0.005g à 0.3 g. Ceci peut être attribué au recouvrement des sites d'adsorption, qui mènent à une diminution de superficie adsorbant disponible et à une augmentation de longueur de trajet de diffusion. [89]

En conclusion la masse optimale considérée dans cette étude est 5mg.

## II. Caractérisation par spectroscopie Infra-Rouge

Les analyses ont été effectuées à l'aide d'une spectrophotomètre infra-rouge de type « Agilent Technologie Cray 600 FTIR Spectrometer », au laboratoire pédagogique des méthodes physiques d'analyse. Cette analyse utilisant la technique de la pastille KBr sous haute pression contenant le déchet de thé. Le spectre obtenu a été enregistré entre 4000 et 400  $\text{cm}^{-1}$ .



**Figure III. 21.** Spectre Infra-Rouge du déchet de thé avant et après l'adsorption du rouge télon lumière.

D'après le spectre IR du complexe on peut voir une bande large et intense à  $3350 \text{ cm}^{-1}$  attribué à l'adsorption de **-OH**.

Un pic intense situé à  $1050 \text{ cm}^{-1}$  correspond à la vibration de valence de la liaison **C-OH**.

Les pics à  $1650 \text{ cm}^{-1}$  correspondent à l'élongation de **C=O** et **C=C** aromatique.

Le pic à  $2920 \text{ cm}^{-1}$  correspond à la vibration de déformation de **C-H** aromatique.

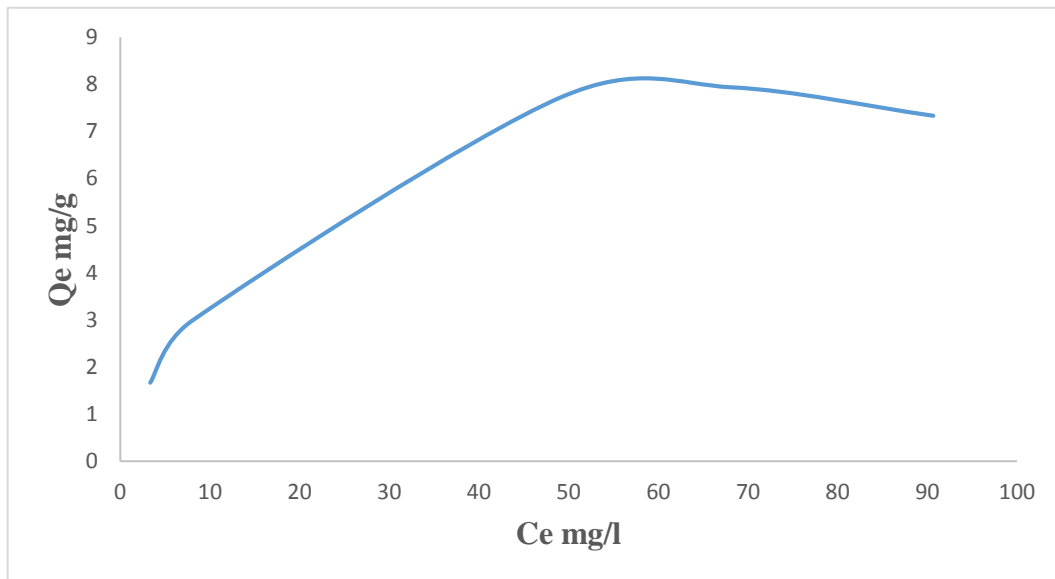
Le pic à  $1530 \text{ cm}^{-1}$  correspond à la vibration de déformation de **groupe amine**

La comparaison de spectre de matériau après l'adsorption du rouge télon lumière à celui de matériau initiale ne montre aucune différence dans le spectre sauf une augmentation relative de

l'intensité des bandes caractérisant les molécules de **-OH**, **C=O** et **C=C** (aromatique) respectivement. [2]

### III. Modélisation de l'isotherme d'adsorption

L'adsorption est la capacité de l'adsorbant à adhérer ou à se fixer à l'adsorbant. L'isotherme d'adsorption est une équation qui montre le transfert de l'adsorbat de la phase aqueuse à la phase d'adsorbant dans des conditions d'équilibre. [97]



**Figure III.22** L'isothermes d'équilibre d'adsorption.

(m =200 mg ; V= 50 ml ; pH = 3 ; t = 50 min ; T= 25 ± 1 °c).

L'allure de l'isotherme d'équilibre d'adsorption selon l'isotherme de type L. Donc elles sont souvent modélisées par les modèles de Langmuir, Freundlich et Temkin ...etc.

#### III.1 Modèle de Langmuir [98]

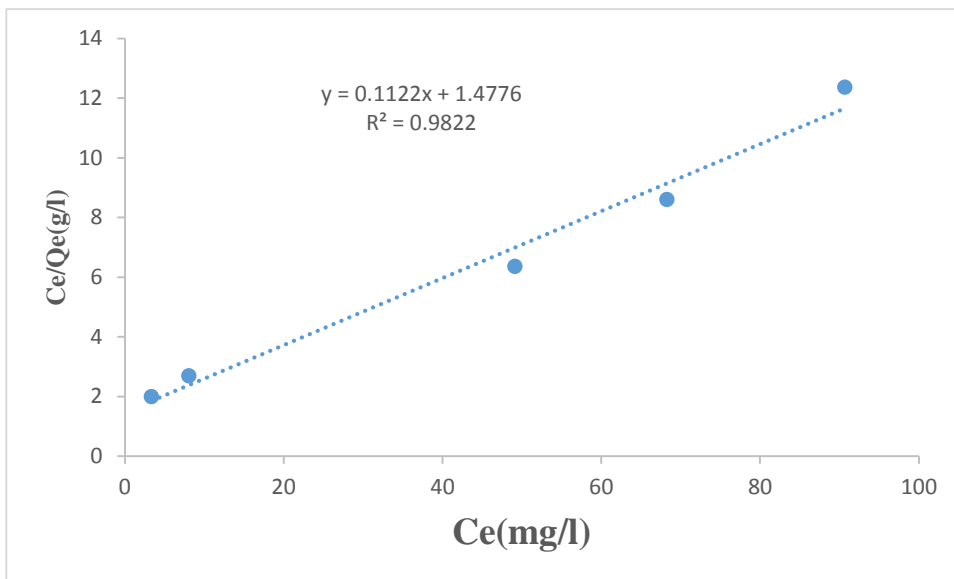
L'isotherme d'adsorption de Langmuir suppose que l'adsorption a lieu sur des sites homogènes spécifiques de l'adsorbant et a trouvé une application réussie pour de nombreux procédés de traitement monocouche adsorption.

L'isotherme de Langmuir peut être écrite sous la forme

$$\frac{C_e}{Q_e} = \frac{1}{bQ_m} + \frac{C_e}{Q_m}$$

En portant  $C_e / Q_e$  en fonction de  $C_e$  on obtient une droite de pente  $1/Q_m$ , et d'ordonnée à l'origine  $1/b$ , cela permet la détermination des deux paramètres d'équilibre de l'équation  $Q_m$  et  $b$ .

-La modélisation d'isotherme d'adsorption de rouge télon lumière par le modèle de Langmuir est représentée sur la Figure III.23.



**Figure III.23.** Essai de modélisation d'isotherme d'adsorption du rouge télon lumière par déchet de thé, selon le modèle de Langmuir.

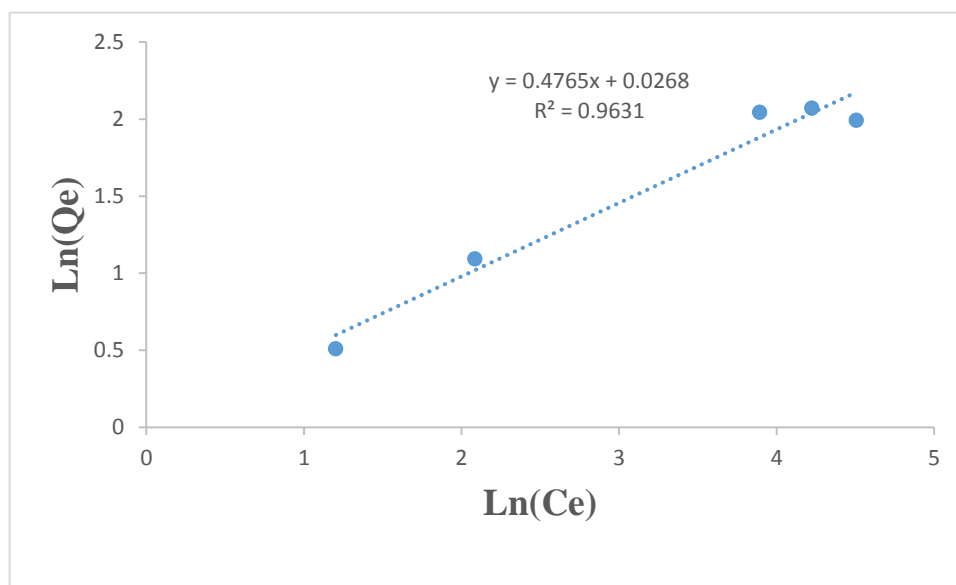
### III.2 Modèle de Freundlich [2]

L'isotherme de Freundlich est une équation empirique basée sur une distribution exponentielle des sites d'adsorption et des énergies. L'équation linéaire de Freundlich est représentée par l'équation suivante :

$$\ln(Q_e) = \ln K_f + \frac{1}{n} \ln C_e$$

Avec :  $K_F$  (mg/g) (L/g) $^{1/n}$  est la constante de Freundlich liée à l'énergie de liaison.  $n$  est le facteur d'hétérogénéité.  $K_F$  et  $n$  sont déterminés à partir du tracé de  $\ln(Q_e)$  en fonction de  $\ln(C_e)$ .

-La modélisation d'isotherme d'adsorption de rouge télon lumière par le modèle de Freundlich est représentée sur la Figure III.24.



**Figure III.24.** Essai de modélisation des isothermes d'adsorption du de rouge télon lumière par déchet de thé selon le modèle de Freundlich.

### III.3 Modèle de Temkin [99]

L'isotherme Temkin contient un facteur qui prend explicitement en compte les interactions adsorbant-adsorbat. Dans cette équation, on suppose que, en raison de ces interactions et de l'ignorance des valeurs de concentration très basses et très grandes, la chaleur d'adsorption de toutes les molécules de la couche diminuerait linéairement avec la couverture. La forme linéaire du modèle Temkin est écrite comme suit :

$$Q_e = (RT/bt) \cdot \ln (A + C_e)$$

Où :  $bt$  et  $A$  sont des constantes d'isotherme de Temkin ;  $R$  : constante universel des gaz (8.314 K J/ mol) ;

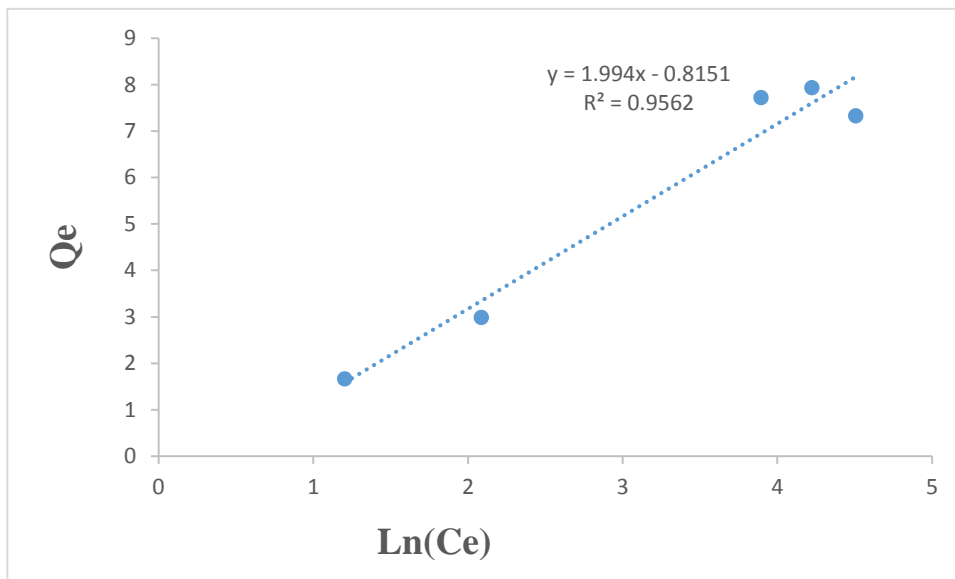
$C_e$  : la concentration à l'équilibre (mg/l) ;

$T$  : la température absolue.

La linéarisation de cette formule s'écrit

$$Q_e = (RT/bt) \cdot \ln A + (RT/bt) \cdot \ln C_e$$

En traçant  $Q_e$  en fonction de  $\ln C_e$  on obtient une droite de pente  $(RT/bt)$  et d'ordonnée à l'origine  $(RT/bt) \cdot \ln A$ .



**Figure III.25.** Essai de modélisation d'isotherme d'adsorption du rouge télon lumière par déchet de thé selon le modèle de Temkin.

**Tableau III. 4.** Les paramètres des essais de modélisation des trois isothermes d'adsorption de rouge télon lumière par le déchet de thé.

Les modèles	Constante de l'isotherme	R <sup>2</sup>
Modèle de Langmuir	b = 0.075 q <sub>m</sub> = 8.912	0.9822
Modèle de Freundlich	= 0.4765 $\frac{1}{n}$ K = 1.027	0.9631
Modèle de Temkin	b <sub>t</sub> = 1242.5 A <sub>t</sub> = 0.0602	0.9562

D'après le Tableau III. 4. les coefficients de corrélation **R<sup>2</sup>** obtenus par les trois modèles d'adsorption ne sont pas les mêmes pour la biosorption du rouge télon lumière par le déchet de thé, on voit bien que le coefficient de corrélation est très élevé pour le modèle de Langmuir. Donc pouvons dire que le modèle de Langmuir est adéquat pour une bonne description de l'isotherme d'adsorption du rouge télon lumière par le déchet de thé, par rapport les autres modèles (Freundlich et Temkin).

# **CONCLUSION GENERALE**



## Conclusion general

---

### Conclusion générale

Ils existent plusieurs techniques pour l'élimination de la pollution des eaux usées chargées en colorants textiles, mais les procédés naturels n'ont pas des problèmes sur l'environnement parce que ces procédés utilisent la matière naturelle. L'adsorption est considérée comme l'une des techniques de traitement le plus utilisée pour enlever les composés organiques en général dans l'eau.

Ce travail consiste, à établir un traitement d'une eau polluée (par un colorant textile) par des procédés naturels.

Nous avons étudiée l'influence des divers paramètres liés, au milieu réactionnel, qui permet de déterminer les meilleures conditions d'adsorption de la rouge télon lumière sur le biosorbant naturelle, Les résultats obtenus nous ont permis de faire les conclusions suivantes :

L'adsorption du rouge télon lumière a donné un bon résultat pour des paramètres optimaux suivants :

Le temps de contact est de 50min, le pH est égale à 3, et La concentration initiale en colorant est de 80 mg/l, et la masse du support est de 5 mg.

Les résultats obtenus par la spectroscopie Infra-Rouge nous a permis de montrer les bandes caractéristiques du déchet de thé et celle du mélange déchet de thé- rouge télon lumière

L'isotherme d'adsorption du rouge télon lumière par le déchet de thé est décrite de manière satisfaisante par le modèle de Langmuir, alors que le modèle de Freundlich et de Temkin ne peut décrire nos résultats expérimentaux sur tout le domaine de concentration étudié.

Ce mémoire ouvre des perspectives intéressantes en termes de confirmation de nos résultats expérimentaux d'étude d'autres méthodes de biosorption, de caractérisations physico-chimique du mélange déchet de thé- rouge télon lumière.

**REFERENCES**  
**BIBLIOGRAPHIQUES**

## Références bibliographiques

---

- [1] Ping J., Dengbo R., Daiping H., Wensheng F., Jian W., Mu G. (2014). An easily sedimentable and effective TiO<sub>2</sub> photocatalyst for removal of dyes in water. *separation and purification technology*, **122**,128-132.
- [2] Khelifi O., Mehrez I., Ben Salah W., Ben Salah f., Younsi M., Nacef M., Affoune A.M. (2016). Etude de l'adsorption du bleu de méthylène (BM) à partir des solutions aqueuses sur un biosorbant préparé à partir des noyaux de datte algérienne. *Larhyss Journal*, **28**, 135-148.
- [3]. Flórez-Restrepo M. A., García-Jiménez M., López-Lugo D. F., Múnera-Porras L. M., Pino- Rodríguez N. J., Peñuela-Mesa G. A. (2018). Discoloration of Reactive black by individual and consortium of *Rhodotorula mucilaginosa*, *Galactomyces pseudocandidum* and *Escherichia coli* free and immobilized. *Ingeniería e Investigación*, **38**(3), 8-14.
- [4] Aboua K. N., Soro D. B., Diarra M., Dibi K., N'guettia K. R., Traore K. S. (2018). Étude de l'adsorption du colorant orange de méthyle sur charbons actifs en milieu aqueux : influence de la concentration de l'agent chimique d'activation. *Afrique science*, **14**(6), 322-331.
- [5] N'guettia R. K., Aboua N. K., Diarra M., Kpan kpan g. k., Soro B. D., Meite I., Gombert B., Dembele A., Traore K. S., (2019). Etude de l'influence des paramètres opératoires sur l'élimination de la ciprofloxacine par des matériaux à base d'argile. *International Journal of Biological and Chemical Science*, **13**(1), 543-556.
- [6] Bleiefert ,C. Perraud, R. (2004). Chimie de l'environnement air, eau, sol, déchets. Edition : de Beock.
- [7] François, R. (2000). Dictionnaire encyclopédique des pollutions. Ediscienceinternational, Paris.
- [8] Ouali, M. S. (2001). Cours de universitaires biologiques et traitement des eaux. Ben-Aknoun , Alger.
- [9] Owa F. W. (2014). Water pollution: sources, effects, control and management. *International Letters of Natural Sciences*, **3**, 1-6.
- [10] Belhadj, M. Z. (2017). *Qualité des eaux de surface et leur impact sur l'environnement dans la Wilaya de Skikda*. Thèse de doctorat en Génie. Université Mohamed Khider Biskra.

## Références bibliographiques

---

- [11] Olivier, A. (2005). Chimie et pollution des eaux souterrains, Paris.
- [12] <http://www.glossaire-eau.fr/concept/pollution> Consulté le 24-02-2019..00:18.
- [13] Guergour, S. (2014). *Elimination des polluants organiques contenus dans les eaux usées par Electro-Fenton*. Mémoire de magistère en Génie Electrochimique. Université ferhat Abbas-Setif-1.
- [14] Bensaha, S. (2018). *Les procédés de traitement et d'épuration des eaux usées par le chitosane*. Thèse de doctorat en science. Université Abou-Bekr Belkaid – Tlemcen.
- [15] Khelifi O., Mehrez I., Younsi M., Nacef M., Affoune A. M. (2018). Adsorption du méthylorange sur un biosorbant à base de noyaux de mangue. *Larhyss Journal*, **36**, 145-156.
- [16] Assaad, A. (2014). *Pollution anthropique de cours d'eau : caractérisation spatio-temporelle et estimation des flux*. Thèse de doctorat en Génie des Procédés. Université de Lorraine.
- [17] Khalfaoui, M. (2012). *Etude Expérimentale de L'élimination de Polluants Organiques et Inorganiques par Adsorption sur des Matériaux Naturels : Application aux Peaux d'Orange et de Banane*. Thèse de doctorat en sciences en génie des procédés. Université Mentouri, Constantine.
- [18] Leveque, C. (1996). Ecosystèmes aquatique. Hachette, Paris.
- [19] Renou, S. (2006). *Analyse de cycle de vie appliquée aux systems de traitement des eaux usées*. Thèse de doctorat en Génie des Procédés et des Produits. Institut National Polytechnique de Lorraine.
- [20] Moussaoui, Y. (2014). Cours de chimie de l'environnement. Ouargla, Alger.
- [21] Bourgeois-Gavardin, J. (1985). *Les boues de paris sous l'Ancien Régime. Contribution à l'histoire du nettoyage urbain au XVIIe et XVIIIe siècles, 2 volume*. Paris Ehes.
- [22] Alkanej, Y. (2017). *Recherche sur les methodes et techniques appliquees au sechage des boues des sep*. Thèse de doctorat en science. Université badji mokhtar-annaba.
- [23] Kaykhaii M., Sasani M., Marghzari S. (2018). Removal of Dyes from the Environment by Adsorption Process. *Chemical and Materials Engineering*, **6**(2), 31-35.

## Références bibliographiques

---

- [24] Needles H. L. (1986). Textile fibers, dyes, finishes, and processes. A concise guide.
- [25] Sen, D. (2005). Reference Book On Chemical Engineering. New Age International (P) Limited, Publishers.
- [26] McMullan G., Meehan C., Conneely A., Kirby N., Robinson T., Nigam P., Banat I., Marchant R., Smyth W. (2001). Microbial decolourisation and degradation of textile dyes. *Applied Microbiology and Biotechnology*, **56**, 81-87.
- [27] Lee J. W., Choi S. P., Thiruvenkatachari R., Shim W. G., Moon H. (2006). Evaluation of the performance of adsorption and coagulation processes for the maximum removal of reactive dyes. *Dyes and Pigments*, **69**, 196-203.
- [28] Bentahar, Y. (2016). *Caractérisation physico-chimique des argiles marocaines : application à l'adsorption de l'arsenic et des colorants cationiques en solution aqueuse*. Thèse doctorat en chimie. L'université de Nice-Sophia Antipolis.
- [29] Benaïssa, A., Kacem, C. (2011). *Etude de la dégradation photocatalytique d'un colorant synthétique et d'un tensioactif*. Thèse de doctorat en sciences. Université Mentouri Constantine.
- [30] Hadj, A., Benselka, N. (2015). *Synthèses d'argiles anioniques (MgFeCO<sub>3</sub>) par coprécipitation et dégradation thermique de l'urée et applications à l'élimination de colorants anioniques dans les effluents textiles*. Thèse de doctorat en Chimie des matériaux. Université de USTO Mohamed Boudiaf.
- [31] IARC. 2010. « IARC Monographs on the Evaluation of Carcinogenic Risks to Humans ». Monograph 99. Some Aromatic Amines, Organic Dyes, and Related Exposures. IARC. Consulté le 25 Mai 2019 ; Disponible sur.
- [32] Ben Mansour H., Boughzala O., Dridi D., Barillier D, Chekir-Ghedira L., Mosrati R. (2011). « Les colorants textiles sources de contamination: CRIBLAGE de la toxicité et des méthodes de traitement ». *Revue des sciences de l'eau / Journal of Water Science*, **24**, **3**, (24) 209-238.
- [33] Amit B., Devi S. S., Chakrabarti T. (2011). Azo Dyes: Past, Present and the Future. *Environmental Reviews*, **19**, 350-370.
- [34] Marinho B. A., Djellabi, R.; Cristóvão, R. O., Loureiro J. M., Boaventura R. A., Dias M. M., Lopes J. C. B., Vilar, V. J. (2017). Intensification of heterogeneous

## Références bibliographiques

---

- TiO<sub>2</sub> photocatalysis using an innovative micro–meso-structured-reactor for Cr (VI) reduction under simulated solar light. *Chemical Engineering Journal*, **318**, 76-88.
- [35] Hammami S., Bellakhal, N., Oturan N., Oturan M. A., Dachraoui M., (2008). Degradation of Acid Orange 7 by electrochemically generated •OH radicals in acidic aqueous medium using a boron-doped diamond or platinum anode: A mechanistic study. *Chemosphere*, **73** (5), 678-684.
- [36] S. Sandhya. (2010) Biodegradation of Azo Dyes Under Anaerobic Condition: Role of Azoreductase, Biodegradation of Azo Dyes, *The Handbook of Environmental Chemistry, Springer-Verlag Berlin Heidelberg*, **9**, 39-57.
- [37] Guendouz, S. (2014). *Biosorption des colorants textiles, Ecarlate Solophényl BNLE et Vert Cibacron par la biomasse sèche de lentilles d'eau*. Thèse de doctorat en chimie. Université Badji Mokhtar -Annaba.
- [38] Benkhaya S., El Harfi S., El Harfi A. (2017). Classifications, properties and applications of textile dyes. *Applied Journal of Environmental Engineering Science*, **3**, 311-320.
- [39] Bendjelloul, M. (2017). *Conception d'adsorbants a proprietes de surface modulables par des procedes de modifications chimiques pour l'elimination de colorants acides en solution aqueuses*. Thèse de doctorat en science. Université Abdelhamid Ibn Badis – Mostaganem.
- [40] Bauer C., Jacques P., Kalt A., Photochem J. Photobiol. (2001). Photooxidation of an azo dye induced by visible light incident on the surface of TiO<sub>2</sub>. *Journal of Photochemistry and Photobiology A: Chemistry*, **140**, 87-92.
- [41] Lamri, N. (2010). *Elimination du colorant orange ii en solution aqueuse, par voie photochimique et par adsorption*. Mémoire de magister en chimie. Université Mentouri de Costantine.
- [42] Ghosh D., Bhattacharyya G. (2002). *Applied Clay Science - Journal – Elsevier*, **20**, 295-300.
- [43] Fu Y., Viraraghavant T. (2001) Fungal de colorization of day wastewater : a review. *Bioresearches technology*, **97**, 251-262.
- [44] Merouani, D. (2011). *Traitement de colorants azoïque et anthraquinonique par procedes d'oxydation avancee (poa)*. Thèse de doctorat en chimie. Université Abdelhamid Ibn Badis, Mostaganem.
- [45] Benosman née Bengrine, A. (2011). *Dépollution des eau*

## Références bibliographiques

---

*x usées sur un support naturel Chitosane-Bentonite*. Mémoire de magistère en chimie. Université Abou Bekr Belkaid, Tlemcen.

[46] Ararem, F. (2010). *Synthèse et caractérisation de biopolymères : Application au piégeage de colorants*. Mémoire de magister en chimie des matériaux. Université d'Oran Es-Sénia.

[47] Chebli, D. (2012). *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 en Génie chimique. Université Ferhat Abbas.

[48] Pirbazari A. E, Pargami N. R, Ashja N, Emami M. S. (2015). Surfactant-coated Tea Waste: Preparation, Characterization and its Application for Methylene Blue Adsorption from Aqueous Solution. *Journal of Environ Analytical Toxicology*, **5**, 310.

[49] Djafer, A. R. (2014). *Traitement biologique des eaux usées : Etude statique et Dynamique*. Thèse de doctorat en science. Université Abdelhamid Ibn Badis de Mostaganem.

[50] Fardjaoui, N. E. H. (2018). *Synthèse des aluminosilicates de type géopolymères et zéolite LTA à partir des kaolins. Application à l'adsorption des métaux lourds (Cu(II), Cr(VI)) et des colorants textiles (jaune bezanyl, vert nylomine)*. Thèse de doctorat en chimie. Université 8 Mai 1945 – Guelma.

[51] Bahia, M. (2015). *Adsorption des polluants organiques et inorganiques sur des substances naturelles : Kaolin, racines de Calotropis procera et Noyaux de dattes*. Thèse de doctorat en science. Université de Lorraine.

[52] Willmott N. J., Gutherie J.T. Nels G. (1998). The biotechnology approach to colour removal from textile effluent. *Journal of the Society of Dyers and Colourists*, **114**, 38-41.

[53] Pagga U., Brown D. (1986). The degradation of dyestuffs part II: behaviour of dyestuffs in aerobic biodegradation tests. *Chemosphere*, **15**, 479-491.

[54] Galindo C., Jacques P., Kalt A. (2001), Photochemical and photocatalytic degradation of an indigoid dye: a case study of acid blue 74 (AB74). *Journal of Photochemistry and Photobiology A: Chemistry*, **141**(1), 47-56.

## Références bibliographiques

---

- [55] Culp S. J., Beland F. A., Heflich R. H. (2002). Mutagenicity and carcinogenicity in relation to DNA adduct formation in rats fed leucomolachite green. *Mutation research*, 506-507, 55-63.
- [56] Hasnainisa M., Siew Langl., Asaari F. A. H., Aziz H. A., Azam R., Paul J., Dhas A. Low cost removal of disperse dyes from aqueous solution using palm ash; *Dyes and Pigments*, **74**, 446-453.
- [57] Singh L., Singh V.P. (2015). Textile Dyes Degradation: A Microbial Approach for Biodegradation of Pollutants, Microbial Degradation of Synthetic Dyes in Wastewaters, Environmental Science and Engineering. *Springer International Publishing Switzerland*, 187-204.
- [58] Zimmermann T., Gasser F., Kulla H.G., Leisinger T. (1984). Comparison of two bacterial azoreductases acquired during adaptation to growth on azo dyes. *Archives of Microbiology*, **138**, 37-43.
- [59] Vijaya P.P., Sandhya S. (2003). Decolorization and Complete Degradation of Methyl Red by a Mixed Culture. *The Environmentalist*, **23**, 145-149.
- [60] Sani R. K. Banerjee U. C. (1999). Decolorization of triphenylmethane dyes and textile and dye-stuff effluent by *Kurthia* sp. *Institute of Microbial Technology*, **24**, 433-437.
- [61] Lemlikchi w. (2012). *Elimination de la pollution des eaux industrielles par différents procédés d'oxydation et de co-précipitation*. Thèse de doctorat en chimie. Université mouloud mammeri tizi ouzou.
- [62] Correia V. M., Stephenson T., JUDD Simon. J. (1994). Characterisation of textile wastewaters - a review. *Environmental Technology*, **15**, 917-929.
- [63] Boucherit Nabila. (2016). *Traitement des colorants textiles par procédés de couplage : Fenton-enzyme*. Thèse de doctorat en chimie. Université Mouloud Mammeri Tizi Ouzou.
- [64] Wafaâ Bjijou. (2016). *Traitement des rejets de nature chimique et biologique par la technique de biosorption*. Thèse de doctorat en chimie. Université Mohammed Rabat.
- [65] Low K. S., Lee C. K., Kong L. Y. (1998). Decolorisation of crude palm oil by acid activated spent bleaching earth, *Journal of Chemical Technology et Biotechnology*, **72**, 67-73.



## Références bibliographiques

---

- [66] Weng C. H., Tsai C. Z., Chua S. H., SHARMA Y. C. (2007). Adsorption characteristics of copper (II) onto spent activated clay, *Separation and Purification Technology*, **54**, 187–197.
- [67] Beldjilali, H. (2010). *Effet de la texture et de la morphologie d'une matrice d'hydroxyde double lamellaire sur l'adsorption : Application sur un colorant textile*. Mémoire de magister en chimie industrielle. Université Mohamed Boudiaf, Oran.
- [68] Larakeb, M. (2015). *Elimination du zinc par adsorption et par coagulation-floculation*. Thèse de doctorat en hydraulique. Université Mohamed khider, Biskra
- [69] Zahaf, F. (2017). *Etude Structurale des argiles modifiées Appliquées à l'adsorption des polluants*. These de doctorat en chimie des matériaux. Université Mustapha stambouli, Mascara.
- [70] Nordin, N. (2018). *Etude expérimentale du potentiel d'adsorption de polluants métalliques sur la sciure de bois brute et modifiée. Analyse cinétique et thermodynamique*. Thèse de doctorat en hydraulique en Chimie Physique Appliquée. Université Djilali liabes, sidi bel Abbés.
- [71] Belayachi ,A . (2016). *Elimination d'un colorant anionique par adsorption, Electrocoagulant, Fenton*. Thèse de doctorat en chimie. Université Abdelhamid ibn badis, Mostaganem.
- [72] Cardot C. (1999). *Génie de l'environnement, les traitements de l'eau procédés physico-chimiques et biologiques, cours et problèmes résolus* . Edition Ellipses.
- [73] Bouchemal, F., Achour, S. (2007). Essais d'adsorption de la Tyrosine sur charbon actif en poudre et en grain. laboratoire de recherche en hydraulique souterraine et de surface. *Laryss Journal*,**6**, 81-89.
- [74] Balbuena, B. B., Lastoskie, C., Gubbina, K. E., Quirke, N. (1992). Theoretical interpretation and classification of adsorption isotherms for simple fluids. *Fundamentals of adsorption*, Kyoto.
- [75] Giles H., Smith D. (1974). A general treatment and classification of the solute adsorption isotherm, I. Theoretical. *Journal of Colloid and Interface Science*, **47**, 755-765.

## Références bibliographiques

---

- [76] Rorrer G., Huang F., Hussein M. A. (1993) Synthesis of porous magnetic chitosane beads for removal of cadmium ions from wastewater, *Industrial Engineering Chemistry Research*, **32**, 2170- 2178.
- [77] Özacar M., Ayhan S. I. (2005). A kinetic study of metal complex dye sorption onto pine sawdust. *Process Biochemistry*, **40**, 565–572.
- [78] Boukraa, D. Saiah, F. (2010). *Traitement des eaux de rejets par sorption de colorant organique sur des argiles anioniques type HDL et comparaison avec des matériaux mésoporeux et macro-mésoporeux hiérarchisés*. Thèse de doctorat en chimie. Université Mohamed Boudiaf, Oran.
- [79] Rajai, M.(2014). *Élimination des colorants de synthèse par adsorption sur des matériaux mésoporeux*. Mémoire de magister en génie chimique. Université ferhate abbas, Setif.
- [80] Sarra, B. (2018). *Etude des phénomènes d'adsorption par la spectroscopie IRTF*. *These de doctorat en chimie*. Université Abdelhamid ibn badis, Mostaganem.
- [81] Krou, N. J. (2010). *Etude expérimentale et modélisation d'un procédé séquentiel AD-OX d'élimination de polluants organiques*, Thèse Université de Toulouse.
- [82] Ines, B. (2016). *Traitement de solutions organiques diluées par couplage adsorption-oxydation électrochimique*. These de doctorat en Génie des procédés et de l'Environnement. Université Toulouse 3 Paul Sabatier.
- [83] Banat F., Al-Asheh S., Al-Ahmad R., Bni-Khalid F. (2007). Bench-scale and packed bed sorption of methylene blue using treated olive pomace and charcoal, *Bioresource Technology*, **98**, 3017–3025.
- [84] Ho Y.S., Chiang T. H., Hsueh Y.M. (2005). Removal of basic dye from aqueous solution using tree fern as a biosorbent, *Process Biochemistry*, **40**, 119–124.
- [85] Ofomaja A.E., (2007). Kinetics and mechanism of methylene blue sorption onto palm kernel fibre. *Process Biochemistry*, **42**, 16–24.
- [86] Ho Y.S., Mckay G. (1998). Kinetic Models for the Sorption of Dye from aqueous solution by wood, *Transactions of the Institution of Chemical Engineers*, **6**, 183-191.

## Références bibliographiques

---

- [87] Garg V. K., Amita M., Kumar R., Gupta R. (2004). Basic dye (methylene blue) removal from simulated wastewater by adsorption using Indian Rosewood sawdust: a timber industry waste. *Dyes and Pigments*, **63**, 243-250.
- [88] Ahluwalia S. S., Goyal D. (2005). Removal of heavy metals by waste tea leaves from aqueous solution. *Engineering in Life Sciences*, **5**, 158-162.
- [89] Arroussi, A. (2013). *Elaboration et caractérisation des billes à base d'un biopolymère et leurs applications dans l'environnement*. Mémoire de magister en Chimie. Université Abou bekr belkaid, Telemcen.
- [90] Meenakshi N., Rajni H., Geeta D., (2014). Tea Wastes as a Sorbent for Removal of Heavy Metals from wastewater. *International Journal of Current Engineering and Technology*, **1**(4), 243-247.
- [91]. Mehrdad C., Soheil S., Bahareh L., Raziyeh Z. (2016). Tea Wastes Efficiency on Removal of Cd(II) From Aqueous Solutions. *Journal Homepage*, **5**(3), 184-191.
- [92] Ousmaila S. M., Maâzou S. D. B., Abdoul R. C. Y., Maman M. M., Ibrahim N. (2018). Valorisation de coques de noix de *Balanites aegyptiaca*(L.) Del. et élimination du Chrome en solution. *Afrique Science*, **14**(3), 167- 181.
- [93] Sahnoun, S. (2011). *Synthèses, caractérisation et application des argiles organophiles*, Thèse de Magister, Université du Sétif.
- [94] Dincer A. R., Guner Y., Karakaya N. (2006). Coal-based bottom ash (CBBA) waste material as adsorbent for removal of textile dyestuffs from aqueous solution, *Colloid and interface science*, **293**, 303-311.
- [95] Kifline M. K., Anatole K. K. M., Philippe N. V., Bernard I. L., Gracien E. B., Blaise M. M. (2018). Adsorption d'un colorant basique, Bleu de Méthylène, en solution aqueuse, sur un bioadsorbant issu de déchets agricoles de *Cucumeropsis manniinaudin*. *International Journal of Biological and Chemical Science*, **12**(1), 558-575.
- [96] Obike A., Igwe J., Emeruwa C., Uwakwek. (2018). Equilibrium and Kinetic Studies of Cu (II), Cd (II), Pb (II) and Fe (II) Adsorption from Aqueous Solution Using Cocoa (*Theobroma cacao*). *Journal of Applied Sciences and Environmental Management*, **22** (2) 182 – 190.

## Références bibliographiques

---

- [97] Leizou K. E., Muhammad A. A., Ahmad. J. K. C., Haroon. R. (2018). Adsorption studies of  $Pb^{2+}$  and  $Mn^{2+}$  ions on low-cost adsorbent: unripe plantain (*Musa paradisiaca*) peel biomass. *Acta Chemica Malaysia (ACMY)*, **2**(1), 11-15.
- [98] Azadeh. E. P., Elham. S., Moslem. B., Mohammad. S. E. (2014). Alkali treated Foumanat tea waste as an efficient adsorbent for methylene blue adsorption from aqueous solution. *Water Resources and Industry*, **6**, 64–80.
- [99] Cleide S. T., Ione L. S., Hélen C., Suzana M. L. O., José J. L., Túlio N. (2018). Elucidation of mechanism involved in adsorption of  $Pb(II)$  onto lobeira fruit (*Solanum lycocarpum*) using Langmuir, Freundlich and Temkin isotherms. *Microchemical Journal*, **137**, 348–354.