

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



## Mémoire de Master

Présenté par :

NADJEMI FATIMA

HARMA ASMAA

En vue de l'obtention du diplôme de Master

Spécialité : Génie Chimique

Thème :

# Comparaison des capacités d'adsorption des divers matériaux

Devant le jury :

Mr. BENABDELKABIR Abbas

M. A. A

Univ. Adrar

Mr. IDDOU Abdelkader

Pr.

Univ. Adrar

M<sup>elle</sup>. CHERGUI Yamina

M. A. A

Univ. Adrar

Année Universitaire : 2019/2020

# REMERCIEMENTS

*Avant tout, nous remercions ALLAH, tous puissant de nous avoir donné la patience, la santé et la volonté pour réaliser ce modeste travail.*

*A notre Encadreur*

*Pr IDDOU Abdelkader à l'université d'Adrar*

*Votre compétence, votre encadrement ont toujours suscité nos profonds respects. Nous vous remercions pour votre accueil et vos conseils. Veuillez trouver ici, l'expression de nos gratitude et de notre grande estime.*

*Aux membres du jury*

*Président du Jury : Mr. BENABDELKABIR Abbas à l'université d'Adrar*

*Examineur: Dr. CHERGUI Yamina à l'université d'Adrar*

*Monsieur et madame les jurys, vous nous faites un grand honneur en acceptant de juger ce travail.*

*Notre profonde gratitude s'oriente vers tout le personnel du Département « d'Hydrocarbures et Energies Renouvelables »*

*Également nos remerciements les plus sincères à toutes les personnes qui ont contribué soit par leurs renseignements soit par leur collaboration technique en facilitant la réalisation de ce travail*



*Je dédie ce modeste travail qui représente le titre de ma fierté au cours de mon cycle d'études A :*

*Mes chers parents qui m'ont montré la voie de la réussite et qui ont fait tant de sacrifices pour me permettre de réussir.*

*Mes très chères frères et sœurs.*

*Toute ma grande famille Harma.*

*Mon mari et mon fils Bahaa Eddine*

*Mon très cher binôme : Fatima.*

*Tous mes ami(e)s à l'université d'Adrar*

*Toute La promotion: 2019-2020*

***Harma Asma***

## الإهداء

بسم الله الرحمن الرحيم (...وقل اعملوا فسيرى الله عملكم ورسوله والمؤمنون...) صدق الله العظيم  
الهي لا يطيب الليل الا بشركك ولا يطيب النهار الا بطاعتك..ولا تطيب اللحظات الا بذكرك..ولا تطيب  
الآخرة الا بعلوك..ولا تطيب الجنة الا برويتك يا مولاي.  
❖ الى من بلغ الرسالة وأدى الأمانة ونصح الأمة..الى نبي الرحمة ونور العالمين سيدنا محمد  
صلى الله عليه وسلم

❖ الى أمي الحبيبة ملاكي في الحياة..الى معنى الحب والحنان والتفاني...الى بسملة الحياة وسر  
الوجود الى من كان دعائها سر نجاحي وحنانها بلسم جراحي .

❖ الى والدي العزيز الذي أحمل اسمه بكل افتخار..الى من كلله الله بالهيبة والوقار..الى من علمني  
العطاء دون انتظار..ارجو من الله ان يمد في عمره ليرى ثمارا قد حان قطافها بعد طول انتظار .

❖ الى اخوتي..الى من ساندوني وأضاءوا الي الطريق وساندوني ويتنازلون عن حقوقهم  
لإرضائي والعيش في هناء..أحبكم حبا لומר على أرض قاحلة لتفجرت منها ينابيع المحبة.

❖ الى زوجي العزيز.. توأم روحي الى هبة الله في الحياة الى رفيق دربي وعمري الى من اكرمني  
وأحسن معاملتي وكثيرا ما تحمل زلاتي وأخطائي.. ولا املك الا ان ادعو الله ان لا يحرمني من وجودك  
معي .

❖ الى صديقتي واخوتي وحبيبتي - حرمة أسماء- التي بدورها شكلت معي ثنائي رائع لعمل هذه  
المذكرة الى ملاكها الطاهر وبهجة حياتها - بهاء الدين-.

❖ الى الاخوات اللواتي لم تلهن امي (عمار مباركة - مسعودي فاطمة الزهراء- براهيم راضية  
) الى من تميزن بالإخاء والوفاء والعطاء الى من كن معي في طريق النجاح والخير.

❖ الى الحارس الذي عمل على حمايتنا..الى عمال النظافة الذين سهروا على راحتنا الى عمال  
المطعم الذين غطوا جوعنا..الى كل عمال الطاقم الجامعي دون استثناء

❖ هل يستطيع أحد أن يشكر الشمس لأنها أضائت الدنيا لكني سأحاول رد جزء من جميلكم بأن  
أكون كما أردتموني -إنسانية قبل ان اكون مهنية- نشكركم جميعا على جهودكم معنا .

ناجمي فاطمة

## Liste de Tableau

<b>Tableau 1: Comparaison entre l'adsorption physique et l'adsorption chimique</b>	<b>14</b>
<b>Tableau 2 : Avantages et inconvénients des procédés physico-chimiques conventionnels</b>	<b>25</b>

## Liste de Figure

<b>Figure 1.Principales étapes du traitement primaire.</b>	<b>07</b>
<b>Figure 2.Lagunage aéré</b>	<b>10</b>
<b>Figure 3.Principes de lagunage naturel</b>	<b>11</b>
<b>Figure 4. Lit bactérien</b>	<b>11</b>
<b>Figure 5.Domains d'existence d'un soluté lors de l'adsorption sur un matériau microporeux</b>	<b>15</b>
<b>Figure 6.Types d'isothermes</b>	<b>19</b>
<b>Figure 7. Représentation schématique à l'échelle de la porosité d'un adsorbant</b>	<b>24</b>
<b>Figure 8. Schéma général d'un spectrophotomètre UV/Vis.</b>	<b>27</b>

# Sommier

Introduction générale	01
Chapitre1: Généralités sur les Eaux Usées et leur Epuration	
I.1. GENERALITES SUR LES EAUX USEES	02
I.1.1. Définition	02
I.1.2.Nature et origine des eaux usées	02
1. Eaux usées domestiques	02
2. Eaux usées industrielles	03
3. Eaux de ruissellement	03
4. Eaux usées agricoles	03
I.1.3.Caractéristiques des eaux usées	03
1. Paramètres physico-chimiques	03
2. Caractéristiques biologiques	04
I.1.4. Type de pollution des eaux	05
1. Pollution chimique	05
2.Pollution physique	05
3. Pollution organique	06
4. Pollution radioactive	06
5. Pollution thermique	06
6. Pollution microbiologique	06
7. Pollution agricole	06
8. Pollution par les hydrocarbures (HC)	06
I.2.1. Etapes de l'épuration des eaux usée	07
I.2. GENERALITES SUR L'EPURATION DES EAUX USEES	07
1. Le traitement primaire	07
2. Le traitement secondaire	08
I.2.2.Procédés d'épuration des eaux usées	09
1. Procédé à bouesactives	09
2. Lagunage	10
3. Les lits bactériens	11

4. Filtration par le sol	12
<b>CHAPITRE II: GENERALITES SUR L'ADSORPTION</b>	<b>13</b>
<b>GENERALITES SUR L'ADSORPTION</b>	<b>13</b>
<b>II.1. TYPES D'ADSORPTION</b>	<b>13</b>
<b>II.1.1. Adsorption physique</b>	<b>13</b>
<b>II.1.2. Adsorption chimique</b>	<b>14</b>
<b>II. 2. Différentes étapes de l'adsorption</b>	<b>14</b>
<b>II.4. Cinétique d'Adsorption</b>	<b>15</b>
<b>II.4.1. Modèles cinétiques</b>	<b>15</b>
1. Modèle pseudo-premier ordre	16
2. Modèle pseudo-second ordre (PSO)	16
3. Modèle de la diffusion intraparticulaire	17
<b>II.5. EQUILIBRE D'ADSORPTION</b>	<b>18</b>
<b>II.5.1. Classification des isothermes d'adsorption</b>	<b>18</b>
1. Forme « H »	18
2. Forme « L »	18
3. Forme « S »	18
4. Forme « C »	19
<b>II.5.2. Modélisation des isothermes d'adsorption</b>	<b>19</b>
1. Modèle de Freundlich	20
2. Modèle de Langmuir	20
3. Modèle d'Elovich	21
4. Modèle de Toth	21
5. Modèle de Sips ou Koble-Corrigan	22
<b>II.6. LES ADSORBANTS</b>	<b>22</b>
1. Définition	23
2. Caractéristiques des adsorbants	23
○ La surface spécifique	23
○ Structure de l'adsorbant	23
○ Porosité	23

○ La polarité	24
II.7. Avantages Et Inconvénients Des Procèdes Physicochimiques	25
<b>CHAPITRE III: MATERIELS ET MOTHODES</b>	
III.1. SPECTROPHOTOMETRIE ULTRAVIOLET/VISIBLE	26
III.2. CARATERISATION DES MATERIAUX PAR SPECTROSCOPIE INFRAROUGE	27
III.3. EFFETS DE LA NATURE DES MATERIAUX SUR L'ADSORTION	28
III.4. EFFETS DES PARAMETRES PHYSICO-CHIMIQUES SUR L'ADSORTION	28
1. Effet du pH	28
2. Effet du temps de contact	28
3. Etablissement des isothermes d'adsorption	29
CONCLUSION	30



# Introduction

## INTRODUCTION

---

L'eau est une source menacée en permanence par des pollutions d'origine accidentelle (naufrages occasionnant des marées noires), d'origine agricole (emploi croissant d'engrais et de pesticides), d'origine industrielle (risque de pollutions chimiques, toxiques ou de rejets d'effluents radioactifs), d'origine automobile (liée à la pollution de l'air par contamination des précipitations), d'origine démographique (l'extension de l'habitat participe à l'accroissement des rejets d'eaux usées). (Botta et Bellon, 2004)

La pollution des eaux et des sols devenue actuellement un problème crucial et de grande inquiétude, puisque elle constitue une source de dégradation de l'environnement et suscite à l'heure actuelle un intérêt particulier à l'échelle internationale.

Différentes techniques ont été utilisées pour l'élimination de certains polluants solubles dans les effluents industriels ou domestiques. Elles sont différentes les unes par rapport aux autres et peuvent être citées à titre d'illustration l'adsorption, l'électrolyse, la flottation, la précipitation, les échanges d'ions, l'extraction liquide-liquide, la filtration membranaire etc.. (Debabeche, 2019)

L'adsorption est l'un des procédés les plus utilisés dans le monde en vue d'élimination des différents polluants dans les réseaux des eaux usées, à cause de sa grande capacité d'épurer les eaux contaminées. (Abdallah et Boguera; 2019) Le charbon actif est l'adsorbant le plus couramment utilisé mais reste très onéreux et nécessite en plus une régénération, constituant un facteur limitant. (Bouazza,2019)

L'objectif de ce travail est de comprendre la comparaison entre l'adsorption des métaux.

Ce travail est divisé en trois chapitres, dans le premier chapitre, nous avons présenté des généralités sur l'eau et sur ses polluants. Le deuxième chapitre décrit et définit en détails le procédé de l'adsorption en tant que méthode de dépollution.

# CHAPITRE I

## GENERALITES SUR LES EAUX USEES ET LEUR EPURATION

Les eaux usées qu'elles soient d'origine domestique ou industrielle, sont collectées par un réseau d'assainissement complexe pour être dirigées et traitées dans une station d'épuration, avant d'être rejetées dans le milieu naturel. La station rassemble une succession de dispositifs, empruntés tour à tour par les eaux usées. Chaque dispositif est conçu pour extraire au fur et à mesure les différents polluants contenus dans les eaux. La succession des dispositifs est bien entendu calculée en fonction de la nature des eaux usées recueillies sur le réseau et des types de pollutions à traiter. (Benguega et Lakehal, 2016)

Les législations de par le monde font, obligation aux communes, aux agriculteurs et aux industriels, de traiter leurs effluents à l'aide de techniques efficaces. Les stations d'épuration utilisent des procédés artificiels qui imitent le processus naturel d'autoépuration des rivières. À la fin du traitement, l'eau épurée est rejetée dans le milieu naturel. Elle peut également être utilisée en irrigation de cultures ou d'espaces verts.

### **GENERALITES SUR LES EAUX USEES**

#### **Définition**

Les eaux usées ou effluents, sont des eaux utilisées et souillées par différentes substances telles que les détergents, les urines, les matières fécales, les huiles, les microorganismes (bactéries, virus, parasite), les pesticides, les engrais, etc. Elles sont issues des différents usages de l'eau liés aux activités humaines, domestiques, industriels, agricoles ou autres (Alouane et Bouchifat, 2017).

#### **Nature et origine des eaux usées**

Suivant les divers substances polluantes que contiennent les eaux ; on distingue quatre catégories d'eaux usées :

##### **1. Eaux usées domestiques**

Elles proviennent des utilisations de l'eau par les habitants. On distingue les eaux vannes (eau des toilettes) et les eaux ménagères (eau de lavages). La pollution domestique est sur tout organique (graisses, déchets organiques), elle peut aussi être chimique (poudres à laver, détergents, produits utilisés dans les jardins...).

Aux eaux usées domestiques traditionnelles s'ajoutent les eaux de pluie et les eaux "collectives" de lavage des rues, des marchés, des commerces, des bâtiments scolaires, des hôpitaux... ainsi que les pollutions par des pesticides pour le traitement des espaces verts et des voiries.

## **2. Eaux usées industrielles**

La pollution générée par ces rejets varie suivant le type d'activité industrielle. Les eaux d'une industrie agro-alimentaire (conserverie de légumes, cave coopérative) véhiculent essentiellement des déchets organiques. Celles provenant d'une tannerie sont chargées de chrome et d'acides, produits toxiques utilisés pour le tannage des peaux. C'est une pollution chimique. La pollution physique peut être due au réchauffement de l'eau par les centrales thermiques, aux matières en suspension des mines ou des carrières. Certains rejets troublent la transparence et l'oxygénation de l'eau; ils peuvent avoir un effet nocif sur les organismes vivants et nuire au pouvoir d'autoépuration de l'eau. Ils peuvent aussi causer l'accumulation de certains éléments dans la chaîne alimentaire (métaux, pesticides, radioactivité).

## **3. Eaux de ruissellement**

Les eaux de ruissellement comprennent les eaux de pluie, les eaux de lavage et les eaux de drainage. Ces eaux sont polluées par les matières qu'elles entraînent, en provenance des trottoirs et chaussées (mazout, bitume, etc.). Elles contiennent également les métaux lourds : zinc, plomb, cuivre...

## **4. Eaux usées agricoles**

Elles sont polluées par des substances utilisées dans le domaine agricole. Elles sont très riches en matières azotées ou phosphatées qui proviennent de l'utilisation d'engrais organiques ou minéraux pour la fertilisation des terres. (Hamma et Moussouni 2019)

### **Caractéristiques des eaux usées**

#### **1. Paramètres physico-chimiques**

Ils résultent de l'introduction dans un milieu des substances conduisant à son altération, se traduisant généralement par des modifications des caractéristiques physico-chimiques du milieu récepteur. La mesure de ces paramètres se fait au

niveau des rejets, à l'entrée et à la sortie des usines de traitement et dans les milieux naturels.

- **Température** : La température est un facteur écologique important des milieux aqueux. Son élévation peut perturber fortement la vie aquatique (pollution thermique). Elle joue un rôle important dans la nitrification et la dénitrification biologique. La nitrification est optimale pour des températures variant de 28 à 32°C par contre, elle est fortement diminuée pour des températures variant de 12 à 15°C, et elle s'arrête pour des températures inférieures à 5°C. (Bollags, 1973 ; Rodier et al, 2005).
- **Potentiel d'Hydrogène (pH)** : Les organismes sont très sensibles aux variations du pH, et un développement correct de la faune et de la flore aquatique n'est possible que si sa valeur est comprise entre 6 et 9. L'influence du pH se fait également ressentir par le rôle qu'il exerce sur les autres éléments comme les ions des métaux dont il peut diminuer ou augmenter leur mobilité en solution biodisponible et donc leur toxicité. Le pH joue un rôle important dans l'épuration d'un effluent et le développement bactérien. La nitrification optimale ne se fait qu'à des valeurs de pH comprises entre 7,5 et 9.
- **Matières en suspension (M.E.S)** : Il s'agit de matières non solubilisées. Elles comportent des matières organiques et des matières minérales. (benchehem et al. 2014)
- **Demande biochimique en oxygène (DBO)**: elle correspond à la quantité d'oxygène nécessaire pour décomposer par oxydation et au moyen des bactéries aérobies, les matières organiques des eaux usées. Cette oxydation s'effectue en deux stades : oxydation des composés de carbone, phénomène qui à 20°C, se trouve pratiquement terminer en 20 jours et oxydation des combinaisons comprenant de l'azote, réaction qui ne s'amorce qu'au bout d'une dizaine de jour. La mesure de la DBO est effectuée généralement après 05 jours (DBO<sub>5</sub>) qui est exprimée en mg d'oxygène consommée par litre.
- **Demande chimique en oxygène (DCO)**: elle exprime la quantité d'oxygène nécessaire pour oxyder la matière organique (biodégradable ou non) d'une eau à l'aide de bichromate de potassium. Ce paramètre offre une représentation plus ou moins complète des matières oxydables (Boumediene, 2013)

## **2. Caractéristiques biologiques**

Divers microorganismes pathogènes provenant essentiellement des matières fécales peuvent être rencontrés dans les eaux usées brutes. Ils sont à l'origine de la

pollution quaternaire des eaux. Parmi eux, nous pouvons citer les bactéries, les virus, les champignons, les protozoaires et les helminthes.

- Les bactéries: Les bactéries sont des organismes unicellulaire simple et sans noyau. Leur taille est comprise entre  $0,1\mu\text{m}$ . La quantité moyenne de bactéries dans les fèces est d'environ  $10^{12}$  bactéries/g. La majorité des bactéries ne sont pas pathogènes, cependant, chez un hôte infecté, le nombre de bactéries pathogènes peut être très important, les bactéries entériques sont adaptés aux conditions de vie dans l'intestin, c'est-à-dire une grande quantité de matières carboné et de nutriments, et une température relativement élevée ( $37\text{C}^\circ$ ), leur temps de survie dans le milieu extérieur, où les conditions sont totalement différentes est donc limité par ailleurs, les bactéries pathogènes vont se trouver en compétition avec les bactéries indigènes ce qui limitera leur développement (Alouane et Bouchifat, 2017)

- Les virus : Ce sont des parasites intracellulaires obligés qui ne peuvent se multiplier que dans une cellule hôte. On estime leur concentration dans les eaux usées urbaines comprise entre  $10^3$  et  $10^4$  particules par litre.

- Champignons : Généralement, les espèces isolées à partir des eaux usées sont très variables et certains seulement sont pathogènes telles que : *Candida albicans*, *Aspergillus fumigatus*, *Cryptococcus neoformans*, *Epidermophyton p.*, *Trichophyton sp.* etc. (Madani, 2015)

### **Type de pollution des eaux**

#### **1. Pollution chimique**

C'est un phénomène néfaste pour la flore, la faune et l'homme. Elle est due essentiellement aux déversements de polluants de nature organiques, minérale ou métallique, soit des nitrates, phosphates, détergents, produits phytosanitaires (dont les pesticides), solvants chlorés, les métaux (plomb, mercure, Zinc, etc.), les colorants (pigments), les produits minéraux et les agents bactériologiques.

#### **2. Pollution physique**

Il s'agit d'une pollution qui se traduit par la présence des particules de taille et de matière très variées dans l'eau qui lui confère un caractère trouble. On distingue aussi

les matières décantées (plus lourdes que l'eau), les matières flottables (plus légères que l'eau) et les matières non séparables (de même densité que l'eau).

### **3. Pollution organique**

La pollution organique constitue souvent la fraction la plus importante d'autant plus que dans son acceptation la plus large, cette forme de pollution peut être considérée comme résultats de diverses activités (urbaine, industrielles, artisanales et rurales). On distingue, pour les eaux usées urbaines, les matières organique banales (protides, lipides, glucides), les détergents, les huiles et goudrons.

### **4. Pollution radioactive**

La pollution radioactive libérée dans l'eau provenant de tirs d'armes nucléaires, de rejets autorisés et d'accidents liés aux utilisations civiles de la radioactivité dans les domaines de l'énergie, des transports, de la métrologie et de la santé.

### **5. Pollution thermique**

Les eaux rejetées par les usines utilisant un circuit de refroidissement de certaines installations (centrales thermiques, nucléaires, raffineries, aciéries...) ont une température de l'ordre de 70 à 80°C et diminue jusqu'à 40 à 45°C lorsqu'elle se trouve en contact avec les eaux des milieux aquatiques entraînant un réchauffement de l'eau, qui influe sur la solubilité de l'oxygène.

### **6. Pollution microbiologique**

Les polluants biologiques sont représentés par les microorganismes. Ces derniers comprennent par ordre croissant: les virus, les bactéries, les protozoaires et les helminthes. Ils proviennent dans leurs immenses majorités des matières fécales, on distingue alors les flores entériques normales et pathogènes.

### **7. Pollution agricole**

La pollution agricole est due à l'utilisation irrationnelle des engrais chimiques et des pesticides. Ces composés peuvent être lessivés lors de précipitation entraînés vers le milieu aquatique.

### **8. Pollution par les hydrocarbures (HC)**

Provenant des industries pétrolières et des transports, qui sont des substances peu solubles dans l'eau et difficilement biodégradables, et en surface, ils forment un film qui perturbe les échanges gazeux avec l'atmosphère.



**GENERALITES SUR L'EPURATION DES EAUX USEES**

L'épuration des eaux usées constitue le processus visant à rendre aux eaux résiduaires rejetées, la qualité répondant aux exigences du milieu récepteur. Il s'agit donc d'éviter une pollution de l'environnement et non de produire de l'eau potable. L'épuration fait circuler celles-ci à travers divers ouvrages dans lesquels elles subissent des pertes de charge (Hamma et Moussouni, 2019)

**Etapas de l'épuration des eaux usée**

Pour atteindre les objectifs d'une eau épurée qui satisfait aux normes de rejets édictées par la législation, les spécialistes de l'assainissement des eaux résiduaires disposent des techniques d'épuration des eaux usées.

**1. Le traitement primaire**

Il permet d'éliminer de l'eau les matières en suspension (déchets grossiers, sables...) et les huiles. Ce traitement comprend plusieurs opérations :

- Le dégrillage : retient, par des grilles, les déchets de bois, papiers, plastiques...
- Le dessablage : retient la terre et le sable susceptibles d'endommager les pompes ou de créer des dépôts dans les bassins.
- Le déshuilage : favorise, par injection de fines bulles d'air ou statiquement, la flottation des huiles et des graisses qui sont séparées par raclage en surface.
- La décantation primaire : permet aux matières en suspension de se déposer par simple gravité sous forme des boues, recueillies ensuite par pompage de fond.

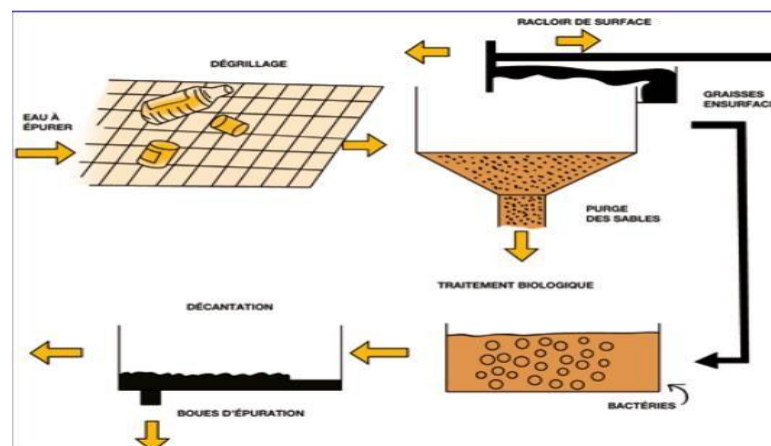


Figure 1.Principales étapes du traitement primaire.

## 2. Le traitement secondaire

Le traitement secondaire élimine les matières en solution dans l'eau (matières organiques, substances minérales...). Deux types de traitements sont utilisés : les traitements biologiques sont appliqués aux matières organiques biodégradables ; les traitements physico-chimiques aux matières non organiques non biodégradables.

- L'épuration biologique : Le traitement biologique des eaux usées est le procédé qui permet la dégradation des polluants grâce à l'action de microorganismes. Ce processus existe spontanément dans les milieux naturels tels que les eaux superficielles suffisamment aérées. Une multitude d'organismes est associée à cette dégradation selon différents cycles de transformations. Parmi ces organismes, on trouve généralement des bactéries, des algues, des champignons et des protozoaires. Les microorganismes responsables de l'épuration s'agglomèrent sous forme de floes et se développent en utilisant la pollution comme substrat nécessaire à la production d'énergie vitale et à la synthèse de nouvelles cellules vivantes. Les différents procédés biologiques d'épuration des eaux usées sont : (Boumediene, 2013)

- Les lits bactériens,
- Les boues activées,
- Les disques biologiques,
- Le lagunage naturel ou aéré,

- L'épuration physico-chimique : elle consiste à transformer chimiquement, à l'aide de réactifs, les éléments polluants non biodégradables. Ces traitements sont mis en œuvre pour répondre à des enjeux particuliers (recherche de performances très élevées), ou lorsque le traitement biologique n'est pas possible (contraintes de place ou de température, variations subites de charge polluante). Les procédés qui s'appliquent aux matières en suspension (MES): la floculation, c'est-à-dire la précipitation de ces matières sous l'effet de réactifs chimiques, permet d'accélérer et de compléter leur décantation. la centrifugation est employée pour les rejets fortement chargés en MES et ayant une faible vitesse de décantation. la filtration s'applique à des MES peu nombreuses et de petite taille. Les principaux procédés de traitement des matières en solution: l'oxydation et la réduction chimique transforment certains polluants en substances non toxiques, au moyen d'oxydants et de réducteurs chimiques.

L'osmose inverse consiste en une filtration moléculaire qui élimine les matières polluantes. À ce stade, l'eau, débarrassée des éléments qui la polluaient, et qui forment les « boues », est épurée à 90%. Elle peut alors être rejetée à la rivière qui achève de résorber la pollution grâce au processus de l'épuration naturelle (autoépuration). Le plus souvent du chlore en sortie de station d'épuration dans un bassin de «contact» où on traite aux ultraviolets. Les traitements destinés à éliminer l'azote et le phosphore sont des traitements complémentaires. (Bakouri et Bakour,)

- Le traitement des boues : En fonction de leur destination, elles font l'objet d'un traitement ayant pour objectif de réduire leur volume. Pour ces boues, trois destinations sont possibles :
  - l'épandage agricole qui représente une valorisation de ce sous-produit fertilisant (amendement organique contenant de l'azote, du phosphore et de la matière organique),
  - l'élaboration de compost par incorporation de paille ou de sciure ou de déchets verts. Le compost peut ensuite être utilisé pour l'épandage agricole,
  - l'incinération pour quelques grosses unités ou lorsqu'une installation locale existe déjà pour les ordures ménagères.

### **Procédés d'épuration des eaux usées**

#### **1. Procédé à bouesactives**

Le procédé à bouesactives consiste à provoquer le développement d'une culture bactérienne dispersée sous forme de flocons (boues activées), dans un bassin brassé et aéré (bassin d'aération) et alimenté en eau à épurer. Dans ce bassin, le brassage a pour but d'éviter les dépôts et d'homogénéiser le mélange des flocons bactériens et de l'eau usée (liqueur mixte); l'aération peut se faire à partir de l'oxygène de l'eau, du gaz enrichi en oxygène par (le brassage, l'injection d'air comprimé, voire même d'oxygène pur), a pour but de dissoudre ce gaz dans la liqueur mixte, afin de répondre aux besoins des bactéries épuratrices aérobies. Après un temps de contact suffisant, la liqueur mixte est envoyée dans un clarificateur appelé parfois décanteur secondaire, destiné à séparer l'eau épurée des boues) Hamma et Moussoun, 2019)

## 2. Lagunage

Le lagunage naturel ou aéré: Le lagunage est un procédé d'épuration qui consiste à faire circuler des effluents dans une série de bassins pendant un temps suffisamment long pour réaliser les processus naturels de l'autoépuration.

Il est pratiqué dans les régions très ensoleillées, dans des bassins de faible profondeur. Le principe général consiste à recréer, dans des bassins, des chaînes alimentaires aquatiques. Le rayonnement solaire est la source d'énergie qui permet la production de matières vivantes par les chaînes trophiques.

Les substances nutritives sont apportées par l'effluent alors que les végétaux sont les producteurs du système en matière consommables et en oxygène. On distingue le lagunage aéré et naturel.

a- *Le lagunage aéré* : dans ce cas l'oxygénation nécessaire est produite par des aérateurs mécaniques à turbines ou par des appareils diffuseurs d'O<sub>2</sub>. La concentration en bactéries est plus importante qu'en lagunage naturel et le temps de séjour est de l'ordre de 1 semaine et la profondeur de 1 à 4 m. Le rendement peut être 80 % et il n'y a pas de recyclage de boues.



**Figure 2. Lagunage aéré**

b- *Le lagunage naturel* : dans ce cas l'oxygène provient de l'atmosphère. L'épuration est assurée et le temps de séjour dans plusieurs des bassins disposés

en série, est lent. Ceci permet l'existence d'algues qui produisent l'oxygène nécessaire au développement et maintien des bactéries aérobies responsable de la dégradation des matières organiques. Le gaz carboné que formé par les bactéries ainsi que les sels minéraux contenus dans les eaux usées permettent aux algues de se multiplier. (Boumediene, 2013)

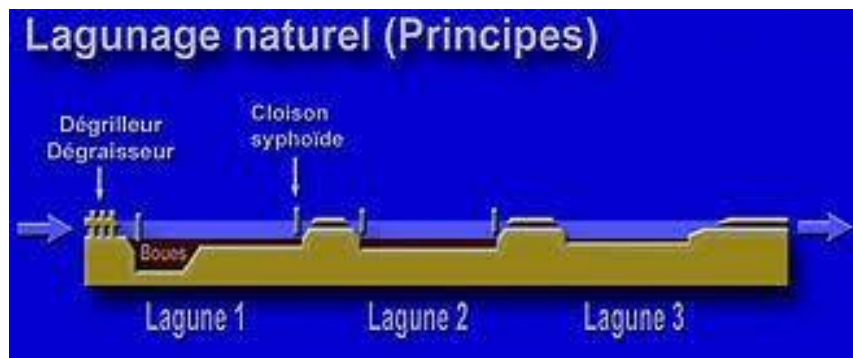


Figure 3. Principes de lagunage naturel

### 3. Les lits bactériens

Les lits bactériens s'adaptent bien à toute possibilité d'épuration dans la mesure où l'effluent à traiter contient des matières organiques biodégradables. Contrairement aux boues activées, ils supportent les effets des surcharges telles qu'ils peuvent se produire en régime unitaire. Ils supportent également les chocs toxiques (ions métalliques surtout par une adsorption de ces éléments sur la pellicule bactérienne). Les lits bactériens sont cependant, sensibles aux apports de graisses dans la mesure où ceux-ci tendent à empêcher la diffusion de l'oxygène à travers la membrane cellulaire, perturbant ainsi le processus respiratoire des microorganismes. (Benguega et Lakehal, 2016)

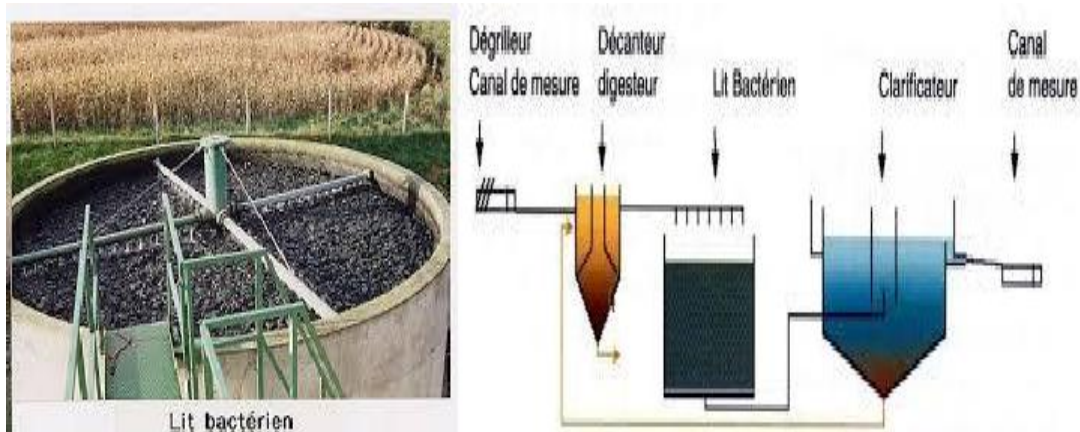


Figure 4. Lit bactérien

**4. Filtration par le sol**

Les procédés d'épuration des eaux usées par infiltration dans le sol sont étudiés du point de vue de leur capacité à désinfecter les effluents et à protéger la qualité sanitaire des eaux de nappes.

La rétention des bactéries dans les milieux poreux non saturés est mise en évidence dans des circonstances expérimentales différentes: écoulements d'eau claire, transferts de créniaux d'effluents reconstitués, essais d'épuration en assainissement autonome et en infiltration-percolation. L'élimination des bactéries est reliée aux contextes physique et écologique de l'infiltration.

**CHAPITRE II**  
**GENERALITES SUR L'ADSORPTION**

**GENERALITES SUR L'ADSORPTION**

L'adsorption est un phénomène physico-chimique se traduisant en particulier par une modification de concentration à l'interface de deux phases non miscibles. L'adsorption est un phénomène de surface tandis que l'absorption est un phénomène de profondeur et de volume. L'adsorption par un solide peut être définie comme étant le phénomène de concentration des molécules d'une phase gazeuse ou liquide sur la surface géométrique du solide mais aussi à sa surface interne développée dans sa porosité.

Elle définit la propriété de certains matériaux (adsorbants) de fixer à leur surface dissoutes dans l'eau (gaz, ion métallique, molécules organiques, constituants indésirables ou toxiques...). (Meroufel, 2015).

**TYPES D'ADSORPTION**

Une distinction entre deux catégories de forces attractives doit être faite, ce qui permet de définir deux types d'adsorption (Abdallah et Bouguerra, 2019)

**Adsorption physique**

L'adsorption physique est un phénomène réversible qui résulte de l'attraction entre les molécules d'adsorbant composant la surface du solide et les molécules du soluté de la phase fluide, ces forces attractives sont de nature physique, comprenant les forces dites de VanderWaals ne détruisant pas l'individualité des molécules et lorsqu'elles opèrent, correspondent à des énergies faibles qui sont de l'ordre de quelques Kilocalories par mole. Ce phénomène consiste essentiellement dans la condensation de molécules sur la surface du solide et il est favorisé en conséquence par un abaissement de la température. (Arris, 2008)

**Adsorption chimique**

L'adsorption chimique résulte d'une interaction chimique qui se traduit par un transfert d'électrons entre le solide et l'adsorbat. Il y a alors formation d'un composé chimique à l'adsorbant. Elle met en jeu une ou plusieurs liaisons chimiques covalentes ou ioniques entre l'adsorbât et l'adsorbant.



La chimisorption est généralement irréversible, produisant parfois une modification des molécules adsorbées. Ces dernières ne peuvent pas être accumulées sur plus d'une monocouche. Seules sont concernées par ce type d'adsorption, les molécules directement liées au solide (Meroufel, 2015).

**Tableau 1. Comparaison entre l'adsorption physique et l'adsorption chimique (Abdallah et Bouguerra, 2019)**

Propriété	Adsorption physique	Adsorption chimique
Types de liaison	Liaison de Van Der Waals	Liaison chimique
T° du processus	Relativement basse	Plus élevée
Désorption	Facile	Difficile
Cinétique	Rapide, indépendante de la température.	Très lente.
Chaleur d'adsorption	Inférieur à 10 Kcal/mole	Supérieur à 10 Kcal/mole
Energie mise en jeu	Faible.	Elevée.
Types de formation	Formation en multicouche en Monocouche	Formation en monocouche

## II. 2. Différentes Etapes De L'adsorption

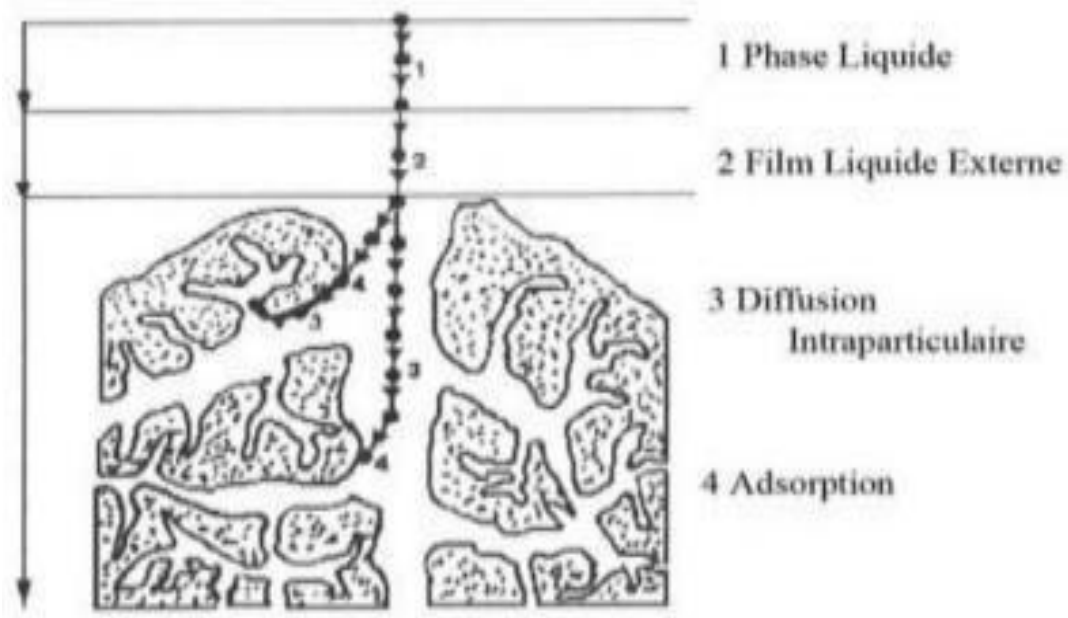
L'adsorption se produit principalement en quatre étapes. La figure 5, représente un matériau (adsorbant) avec les différents domaines dans lesquels peuvent se trouver les molécules organiques ou inorganiques qui sont susceptibles de rentrer en interaction avec le solide. Avant son adsorption, le soluté va passer par plusieurs étapes : (Bouacherine, 2013)

1)- Diffusion de l'adsorbât de la phase liquide externe vers celle située au voisinage de la surface de l'adsorbant.

2)- Diffusion extra granulaire de la matière (transfert du soluté à travers le film liquide vers la surface des grains).

3)- Transfert intra granulaire 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.



**Figure 5. Domaines d'existence d'un soluté lors de l'adsorption sur un matériau microporeux (Bouacherine, 2013)**

### **Cinétique D'adsorption**

La cinétique d'adsorption est définie par l'évolution de la quantité adsorbée en fonction du temps de contact adsorbant/adsorbat. La vitesse d'adsorption d'un soluté à partir d'une solution dépend de nombreux facteurs, notamment la nature de l'adsorbant, l'adsorbat, ainsi que de la vitesse d'agitation du milieu.

Elles ont montré que l'adsorption des adsorbats est relativement rapide sur un solide non poreux. L'équilibre est atteint en quelques minutes. Cependant, l'adsorption sur un solide poreux est beaucoup plus lente. (Bouacherine, 2013)

### **Modèles cinétiques**

Il est très important de prédire la vitesse à laquelle le polluant est éliminé. Pour évaluer les paramètres de la cinétique, plusieurs modèles peuvent être appliqués parmi lesquels on retient trois modèles très utilisés pour décrire le mécanisme de l'adsorption en phase liquide: modèle de pseudo premier ordre, modèle de pseudo second ordre et le modèle de la diffusion intra particulaire. (Daas, 2015)

### 1. Modèle pseudo-premier ordre

La vitesse d'adsorption de l'adsorbat est donnée par l'équation de Lagergren(1898) sous la forme :

$$\frac{dQ_e}{dt} = K_1(Q_e - Q_t)$$

Eq. 01

$K_1$  ( $\text{min}^{-1}$ ) : constante de vitesse d'adsorption de premier ordre;  $Q_e$  (mg/g) : quantité adsorbée à l'équilibre;  $Q_t$ (mg/g) : quantité adsorbée à l'instant t (min) : temps de contact.

Après intégration avec les conditions initiales  $Q_t = 0$  à  $t = 0$ , l'équation devient :

$$Q_t = Q_e(1 - e^{-k_1 t})$$

Eq. 02

La linéarisation de l'équation précédente donne :

$$\ln(Q_e - Q_t) = \ln Q_e - k_1 t$$

Eq. 03

La quantité adsorbée  $Q_e$  (mg/g), la vitesse d'adsorption peuvent être trouvés de deux manières différentes :

- \* En traçant  $Q_t = f(t)$  à partir de l'équation originale (Eq.02).
- \* En traçant  $\ln(Q_e - Q_t) = f(t)$  à partir de la transformée linéaire de l'équation originale (Eq.03).

Le graphe de  $\ln(Q_e - Q_t)$  en fonction de t devrait donner une droite où  $k_1$  et  $Q_e$  peuvent être déterminées à partir de la pente et l'intersection à l'origine respectivement.

### 2. Modèle pseudo-second ordre (PSO)

Ce modèle est donné par l'expression de Ho et McKay, 1999.

$$\frac{dQ_e}{dt} = K_2(Q_e - Q_t)^2$$

Eq. 04

$K_2$  (g/mg/min) : constante de vitesse de réaction de pseudo second ordre ;  $Q_e$  (mg/g) : quantité adsorbée à l'équilibre;  $Q_t$ (mg/g) : quantité adsorbée au temps t ; t (min) : temps de contact.

Après intégration on obtient :

$$Q_t = \left( 1 - \frac{1}{k_2 + Q_e t + 1} \right)$$

Eq. 05

La linéarisation de l'équation précédente donne :

$$\frac{t}{Q_t} = \frac{1}{K_2 Q_e^2} + \frac{1}{Q_e} t$$

Eq. 06

La quantité adsorbée  $Q_e$  (mg/g), la vitesse d'adsorption peuvent être trouvés de deux manières différentes

\* En traçant  $Q_t = f(t)$  à partir de l'équation originale (Eq.05).

\* En traçant  $\frac{t}{Q_t} = f(t)$  à partir de la transformée linéaire de l'équation originale (Eq.06).

Le graphe de  $\frac{t}{Q_t} = f(t)$  devrait donner une droite où  $k_2$  et  $q_e$  peuvent être déterminées à partir de la pente et l'intersection à l'origine respectivement.

À  $t = 0$  on peut également déterminer la vitesse initiale d'adsorption  $h = k Q_e^2$  exprimée en mg/(g.min).

### 3. Modèle de la diffusion intraparticulaire

Les deux modèles cités précédemment ne donnent pas toutes les informations sur le mécanisme d'adsorption. De ce fait on utilise un autre modèle qui est celui de la diffusion intraparticulaire. De ce modèle, il a été établi que le mécanisme d'adsorption des composés en milieu aqueux sur des adsorbants solides poreux se déroule en plusieurs étapes :

- (i) Diffusion externe du réactif A à travers la couche limite située au voisinage du grain;
- (ii) Diffusion interne du réactif (diffusion intraparticulaire) dans la structure poreuse du solide ;
- (iii) Adsorption du réactif A sur un site actif de la surface de l'adsorbant.

Ce modèle a été établi par Weber et Morris (1962). Il est représenté par l'équation :

$$Q_t = k_i t^{1/2} + C$$

Eq. 07

---

$Q_t$  (mg/g) : quantité adsorbée au temps  $t$  ;  $C$  : intersection de la droite avec l'axe des ordonnées. La valeur de  $C$  donne une idée sur l'épaisseur de la couche limite ;  $k_i$  (mg/g min<sup>1/2</sup>) : constante de la diffusion intraparticulaire. (Daas, 2015)

### EQUILIBRE D'ADSORPTION

L'information sur l'équilibre d'adsorption est indispensable dans l'étude d'adsorption d'un soluté sur un matériau. Le phénomène d'adsorption est décrit en termes d'isothermes. Ces derniers rendent compte la relation entre la quantité adsorbée du soluté et la concentration de ce dernier dans la phase liquide, sous deux conditions: l'équilibre réactionnel est atteint et les conditions opératoires sont constantes (Louragini, 2016)

#### Classification des isothermes d'adsorption

Plusieurs auteurs, dont Giles ont proposé une classification des isothermes de sorption basée sur leur forme et sur leur pente initiale (Giles, 1974(a) ; Giles, 1974(b)). La revue de (Limousine, 2007) présente une synthèse plus ou moins détaillée de cette classification. Parmi les formes d'isothermes, ces auteurs distinguent (Figure 6) : la forme H, dite de «haute affinité», la forme L, dite de « Langmuir », la forme C, dite de «partition constante», la forme S, dite «sigmoïdale». Les formes « L » et « H » sont les plus observées, notamment dans le cas de l'adsorption de composés organiques en solution aqueuse sur des charbons actifs.

#### 1. Forme « H »

Est un cas particulier de la forme « L », où la pente initiale est très élevée. C'est le cas quand le soluté exhibe une forte affinité pour le solide.

#### 2. Forme « L »

Correspondrait plutôt aux faibles concentrations en soluté dans l'eau. L'isotherme est de forme convexe, ce qui suggère une saturation progressive du solide. Quand  $C_e$  tend vers zéro, la pente de l'isotherme est constante.

#### 3. Forme « S »

Présente un point d'inflexion révélateur d'au moins deux mécanismes d'adsorption. C'est le cas, par exemple, quand une première couche de soluté est d'abord adsorbée puis quand l'adsorption d'une ou plusieurs couches supplémentaires devient favorisée.

#### 4. Forme « C »

Est une droite passant par zéro ce qui signifie que le rapport  $q_e/C_e$  (appelé coefficient de distribution  $K_d$ ). (Bahia, 2015)

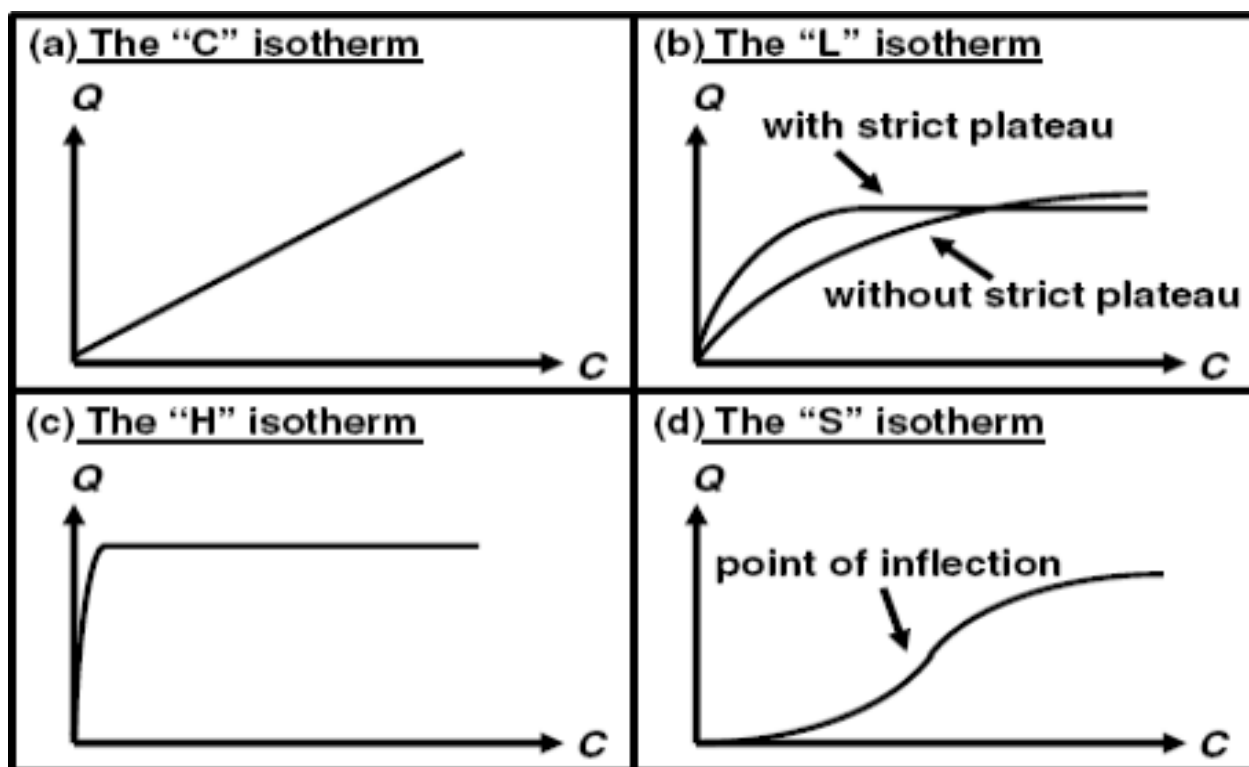


Figure 6. Types d'isothermes (Limousine, 2007)

#### Modélisation des isothermes d'adsorption

Les paramètres obtenus à partir de la modélisation des isothermes fournissent des informations importantes sur le mécanisme d'adsorption, les propriétés de surface et les affinités adsorbant-adsorbat. Les deux modèles à deux paramètres les plus couramment employés sont les modèles de Langmuir et Freundlich, mais aussi pour aller un peu plus loin dans la compréhension des mécanismes d'adsorption, on peut utiliser les modèles à trois paramètres. Nous avons plusieurs modèles tels que le modèle de Redlich-Peterson et le modèle de Langmuir-Freundlich. Il existe d'autres modèles qui seront applicables ou pas suivant que le coefficient de corrélation  $R^2$  sera élevé ou pas. Le meilleur modèle applicable parmi ceux que nous avons choisis sera évalué à partir de ce coefficient  $R^2$  ( $0 < R^2 < 1$ ) et la valeur de la quantité maximum obtenue à partir des différents modèles et celle obtenue expérimentalement. (Benamraoui, 2014)

**1. Modèle de Freundlich**

En 1894 Freundlich a édité une isotherme qui porte son nom. C'est une équation empirique utilisée pour décrire les systèmes hétérogènes, caractérisés par le facteur  $1/n$  d'hétérogénéité, elle décrit l'adsorption réversible et elle n'est pas limitée à la formation de la monocouche. Il peut être décrit par l'équation suivante :

$$q_e = K c_e^n$$

Eq. 08

$q_e$  (mg/g) : Quantité d'adsorbat adsorbée par l'adsorbant à l'équilibre.  $C_e$  (mg/L) : Concentration de l'adsorbat dans la solution à l'équilibre,  $k$  (L/g) : Constante de Freundlich,  $n$  : Intensité d'adsorption, compris entre 0 et 1, pour  $n = 1$ , l'isotherme est linéaire.

Une forme linéaire de l'expression de Freundlich peut être obtenue en prenant le logarithme de l'équation précédente :

$$\ln q_e = \ln K + n \ln C_e \tag{Eq. 09}$$

Si cette équation est vérifiée avec les données d'équilibre d'adsorption, nous devons obtenir une droite dans le système de coordonnées  $\ln q_e$  f  $(\ln C_e)$  ; la pente et l'ordonnée à l'origine donnent respectivement  $n$  et  $K$  (Bouazza, 2019)

**2. Modèle de Langmuir**

Ce modèle est très utile pour l'adsorption monomoléculaire d'un soluté en formant une monocouche à la surface d'un adsorbant, ce modèle est utilisé quand les conditions suivantes sont remplies :

- L'espèce adsorbée est fixée sur un seul site bien défini,
- chaque site n'est capable de fixer qu'une seule espèce adsorbée,
- l'énergie d'adsorption de tous les sites est identique et indépendante des autres espèces déjà adsorbées sur des sites voisins.

Il est décrit par l'expression :

$$q_e = \frac{q_{\max} k_l c_e}{1 + k_l c_e}$$

Eq.10

$C_e$  : Concentration à l'équilibre (mg/L),  $q_e$  : quantité du produit adsorbé par unité de masse d'adsorbant (mg/g),  $q_{max}$  : capacité maximale d'adsorption théorique (mg/g).  $K_L$  : constante de l'équilibre thermodynamique d'adsorption (l/mg).

La linéarisation de l'équation donne :

$$\frac{C_e}{q_e} = \frac{1}{q_{max} K_L C_e} + \frac{1}{q_{max}}$$

Eq.11

L'équation de Langmuir peut être exprimée par un paramètre d'équilibre adimensionnel appelé,  $R_L$  défini par :

$$R_L = \frac{1}{1 + K_L C_e}$$

Eq.12

Si  $R_L = 0$  l'isotherme est irréversible; si est compris entre 0 et 1 ( $0 < R_L < 1$ ) alors elle est favorable, si  $R_L = 1$  elle est linéaire et si  $R_L > 1$  elle est défavorable. (Benamraoui, 2014)

### 3. Modèle d'Elovich

Le modèle d'Elovich (Elovich et Larinov, 1962) est basé sur un développement cinétique faisant l'hypothèse que les sites d'adsorption augmentent exponentiellement avec l'adsorption, ce qui implique une adsorption multi-couches. Quand il est utilisé, il est exprimé par la relation :

$$\frac{Q_e}{Q_m} = \theta = \frac{K E \cdot C_e \exp -Q_e}{Q_m}$$

Eq.13

$KE$ , constante de Elovich (en  $L \cdot mg^{-1}$ ) Le tracé de  $\ln(Q_e / C_e)$  vs  $Q_e$  permet d'atteindre  $Q_m$  et  $KE$ .

$$\ln Q_e C_e = - \frac{Q_e}{Q_m} + \ln (K E \cdot Q_m) \quad \text{(Hamdaoui et Naffrechoux, 2007)} \quad \text{Eq.14}$$

### 4. Modèle de Toth

C'est également un modèle très souvent cité et utilisé. Le modèle de Tóth a été établi pour l'adsorption en phase gazeuse (Toth, 1962) à partir de l'isotherme de Langmuir, mais en considérant que la surface de l'adsorbant n'est pas énergétiquement homogène.



Ce modèle présente donc un intérêt particulier puisqu'il considère que la surface de l'adsorbant est hétérogène. En phase liquide, il est généralement utilisé comme une adaptation du modèle de Langmuir, proche du modèle empirique de Redlich-Peterson

$$\frac{Q_e}{Q_m} = \theta = \frac{c_e k_l}{[1 + (c_e k_l)^n]^{\frac{1}{n}}}$$

Eq.15

Une linéarisation possible de l'isotherme de Toth est,

$$\frac{c_e^n}{Q_e} = \left(\frac{1}{k_l Q_m}\right)^n + \left(\frac{1}{Q_m}\right)^n \cdot c_e^n$$

Eq.16

Le tracé de  $(C_e/Q_e)^n$  vs  $(C_e)^n$  doit être linéaire si le modèle est vérifié. (Rudzinski et Plazinski, (2007)

### 5. Modèle de Sipsou Koble-Corrigan

Le modèle de Sips (Sips, 1948) est quant à lui peu cité. Il est de la forme suivante et est généralement mieux validé quand  $n > 1$  :

$$\frac{Q_e}{Q_m} = \theta = \frac{(c_e k_l)^n}{1 + (c_e k_l)^n} \quad \text{Ou} \quad \frac{Q_e}{Q_m} = \frac{1}{(c_e k_l)^n + 1} \quad \text{Eq.17}$$

Il est possible de retrouver son expression en appliquant la loi d'action de masse, comme pour l'expression de Langmuir dont il est issu, mais en considérant que  $n$  molécules de soluté sont adsorbées par site, ce qui revient à écrire que la stœchiométrie de la réaction d'adsorption est de «  $n$  » molécules de soluté pour un site libre sur l'adsorbant. Cette interprétation permet de comprendre pourquoi la valeur de  $n$  est plutôt supérieure à 1. (Aga, 2015)

## LES ADSORBANTS

Les premiers adsorbants utilisés, il y a plusieurs siècles, furent les argiles et les terres décolorantes, puis à la fin du XIX<sup>ème</sup> siècle furent développés les charbons actifs. La première guerre mondiale vit apparaître les gels de silice, puis, dans les années 1939-1940, les alumines activées. En 1945 sont reconnues les propriétés d'adsorption exceptionnelles des zéolithes naturelles. En 1950, les premières zéolithes synthétiques ouvrent la voie au fantastique développement des tamis moléculaires comme

---

catalyseurs et adsorbants. A côté de ces adsorbants utilisés en quantités industrielles, se sont développés ces dernières années de nouveaux produits de meilleures propriétés. Seuls les adsorbants ayant une surface spécifique suffisante peuvent avoir un intérêt pratique.

Les adsorbants industriels ont généralement des surfaces spécifiques supérieures à  $100 \text{ m}^2.\text{g}^{-1}$  et pouvant atteindre quelques milliers de  $\text{m}^2.\text{g}^{-1}$ . Ces adsorbants sont nécessairement microporeux avec des tailles de pores inférieures à 2 nm ou mésoporeux avec des tailles de pores comprises entre 2 nm et 50 nm. (Benamraoui, 2014)

### 1. Définition

En théorie tous les solides des adsorbants. Dans l'industrie, les solides les plus utilisés sont les charbons actifs, les zéolithes, les gels de silice et les alumines activées. Les capacités d'adsorption particulièrement élevées de ces matériaux sont en partie liées à leurs structures très développées et leurs grandes surfaces spécifiques. (Beriber, 2016)

### 2. Caractéristiques des adsorbants

#### ○ La surface spécifique

La surface spécifique d'un solide est définie comme étant sa surface par unité de masse. Elle est exprimée en  $(\text{m}^2/\text{g})$ . En général, la capacité d'adsorption d'un adsorbant est proportionnelle à sa surface spécifique, plus la surface est importante, plus grande sera la quantité de molécules adsorbées. (Nadir, 2018)

#### ○ Structure de l'adsorbant

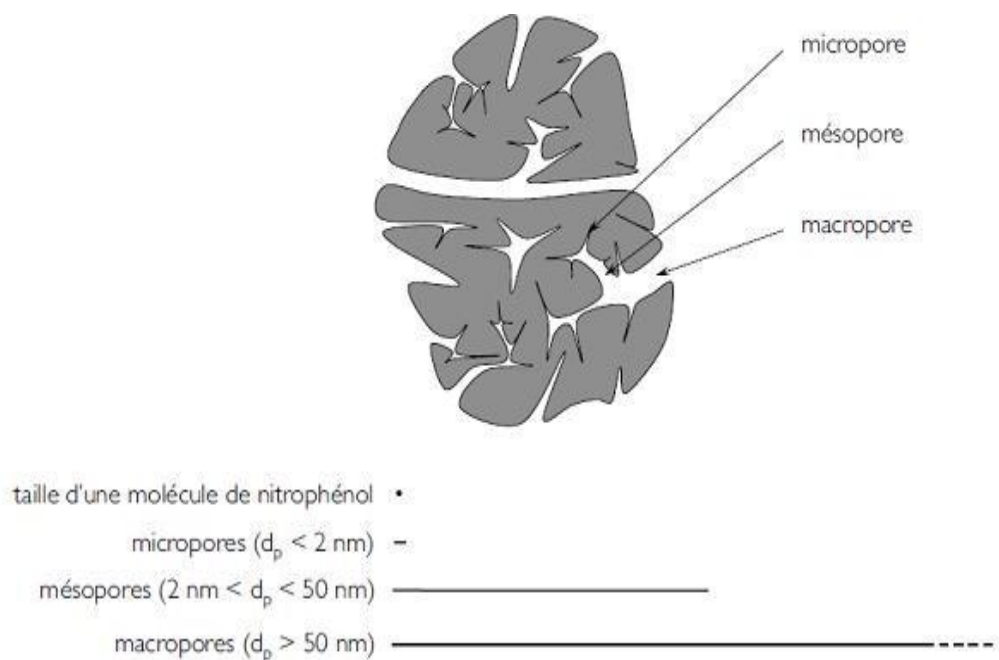
L'adsorption d'une substance croît avec la diminution de la taille des particules et les dimensions des pores de l'adsorbant. Mais si le diamètre des pores est inférieur au diamètre des molécules, l'adsorption de ce composé sera négative, même si la surface de l'adsorbant a une grande affinité pour le composé. (Abdallah et Bouguerra, 2019)

#### ○ Porosité

Un pore est une cavité profonde et étroite qui existe dans un grain de matière. Un solide poreux peut donc être défini à partir du volume de substance adsorbée, supposée liquide, nécessaire pour saturer tous les pores ouverts d'un gramme de ce solide ; un pore ouvert débouche obligatoirement à la surface du grain et est accessible au

fluide. Ce volume poreux, exprimé en  $\text{cm}^3 \cdot \text{g}^{-1}$ , ne tient donc pas compte des pores fermés ; c'est-à-dire obstrués par de la matière à leurs deux extrémités.

Selon l'International Union of Pure and Applied Chemistry (IUPAC), les tailles de pores sont réparties en 3 groupes comme indiqué Figure 7 : les pores dont la largeur excède 50 nm, sont appelés macropores, les pores de largeur comprise entre 2 et 50 nm, sont appelés mésopores, les pores dont la largeur est inférieure à 2 nm, sont appelés micropores.



**Figure 7. Représentation schématique à l'échelle de la porosité d'un adsorbant**

Les macropores permettent au fluide d'accéder à l'intérieur du grain, les mésopores favorisent le transport de ce fluide et les micropores regroupent la majorité des sites d'adsorption. Dans le cas des charbons actifs, le degré d'activation (ou burn-off) est un facteur important, car au-dessous de 50%, la formation de micropores et mésopores est privilégiée tandis qu'un degré d'activation supérieur favorise la formation de macropores. (Aga, 2015)

#### o La polarité

Les solides polaires adsorbent préférentiellement les corps polaires, et les solides apolaires adsorbent les corps apolaires. L'affinité pour les substrats croît avec la masse moléculaire de l'adsorbat. (Nadir, 2018)

### Avantages et Inconvénients des Procédés Physicochimiques

Le tableau suivant résume les différentes méthodes physicochimiques de traitement contenant des ions métalliques et des colorants en milieu aqueux, ainsi que leurs avantages et leurs inconvénients. Hormis la précipitation, les procédés physicochimiques sont d'une bonne efficacité, au vu des taux d'élimination des polluants rapportés. Cependant, qu'il s'agisse des techniques membranaires, de l'échange d'ions ou de l'adsorption sur charbons actifs, tous nécessitent un investissement de base important, en plus des coûts d'exploitation et d'entretien. En raison des contraintes liées à l'exploitation et la maintenance des installations de traitement des eaux, ces techniques d'épuration ont expérimentées.

L'un des aspects de la stratégie élaborée consiste à produire localement du charbon actif à partir de déchets agricoles ligno- cellulosiques, pour le traitement d'effluents industries chargés en métaux lourds et /ou en colorants. En revanche, la disponibilité des biosorbants tels que les coquilles de noix du Brésil, l'enveloppe de café, les épiluchures du grenadier, sont utilisées pour le traitement des effluents riches en colorants et en ions métalliques. (Khalifaoui, 2012)

**Tableau 2 : Avantages et inconvénients des procédés physico-chimiques conventionnels**

Procédé	Avantages	Inconvénients
Coagulation-précipitation	Coût très abordable ; mise en œuvre relativement simple	Production de boue importante ; faible sélectivité vis-à-vis des polluants
Filtration membranaire	Bonne capacité d'élimination des colorants et des cations métalliques	Risque de colmatage et coût élevé ; production de boue concentrée
Echange d'ions	Bonne capacité d'élimination d'une grande variété de polluants métalliques et de colorants	Nécessité de régénérer la résine; coût des solvants de régénération élevé
Adsorption	Très efficace pour l'élimination des polluants métalliques et de colorants	Coût relativement élevé ; nécessité de régénérer l'adsorbant

**CHAPITRE III**  
**MATERIELS ET METHODES**

**MATERIELS ET METHODES****SPECTROPHOTOMETRIE ULTRAVIOLET/VISIBLE**

Les mesures du spectrophotomètre sont basées sur la loi de Beer-Lambert qui permet de calculer la quantité de lumière absorbée après passage à travers une épaisseur donnée d'un composé en solution dans une matrice absorbante.

$$A = \epsilon \cdot C \cdot l$$

A : Absorbance qui est un paramètre optique sans unités,  $\epsilon$  : Coefficient d'absorption molaire en  $\text{l.mol}^{-1}.\text{cm}^{-1}$  à la longueur d'onde à laquelle on fait la mesure, C : Concentration molaire, l : épaisseur de la solution traversée un cm.

La lumière arrivant sur un échantillon peut être transmise, réfractée, réfléchiée, diffusée ou absorbée. La loi de Beer-Lambert, qui ne concerne que la fraction absorbée, n'est vérifiée que dans les conditions suivantes :

- La lumière utilisée doit être monochromatique
- Les concentrations doivent être faibles
- La solution ne doit être ni fluorescente ni hétérogène
- Le soluté ne doit pas donner lieu à des transformations photochimiques

Le soluté ne doit pas réagir avec le solvant

La figure (Figure 8) mentionne le schéma général d'un spectrophotomètre UV/VIS à optique mono faisceau type monocanal.

Expérimentalement, on commence par tracer des courbes d'étalonnage « absorbance en fonction de la concentration » à partir des solutions à concentrations connues du composé à doser soumises au même traitement que l'échantillon. Cette courbe a généralement l'allure d'une droite pour les solutions diluées. Elle permet de déduire la concentration de la solution inconnue (l'échantillon). Le résultat est déterminé par interpolation et non pas par extrapolation.

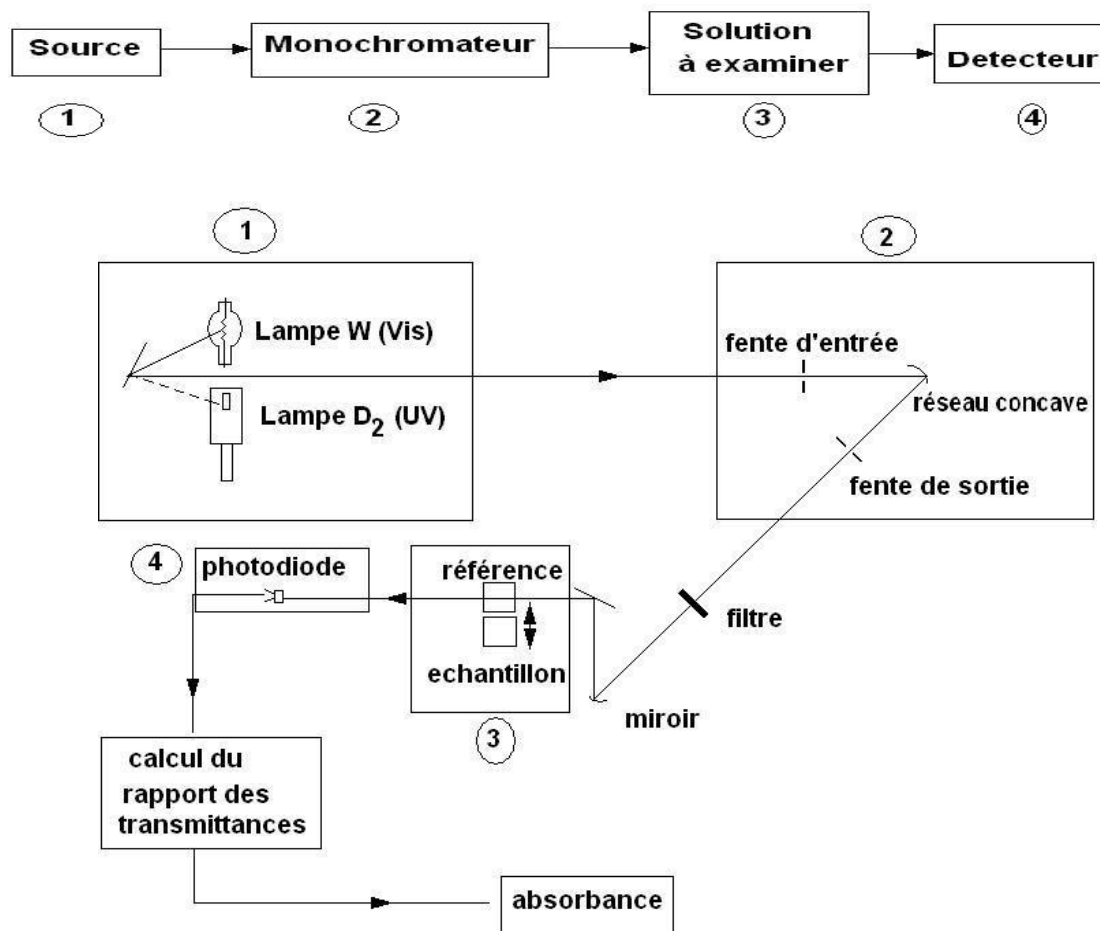


Figure 8. Schéma général d'un spectrophotomètre UV/Vis.

### CARACTERISATION DES MATERIAUX PAR SPECTROSCOPIE INFRAROUGE

La spectroscopie infrarouge est une classe de spectroscopie qui traite de la région infrarouge du spectre électromagnétique. Elle recouvre une large gamme de techniques, la plus commune étant un type de spectroscopie d'absorption.

Les groupes d'atomes, tels que C=C, C=O, C-H etc absorbent la lumière I.R. en des endroits déterminés du spectre. Cette position peut varier légèrement en fonction de l'environnement du groupe.

Les différents matériaux sont analysés par FTIR.

### **EFFETS DE LA NATURE DES MATERIAUX SUR L'ADSORTION**

Dans cette étude nous avons opté pour travailler et valoriser plusieurs matériaux locaux. Ces matériaux sont de nature végétale et minérale. Le modèle de pollution que nous avons choisi est un colorant industriel utilisé dans l'industrie textile Algérienne.

Les matériaux seront utilisés à l'état brut et à l'état modifié par différents procédés.

Dans cette partie pour montrer l'effet de la nature du matériau, nous travaillerons en mode batch.

500mg des matériaux seront mis en contact avec 50mL d'une solution de colorant à 25 et 50mg/L. La suspension sera ensuite agitée pendant 60 minutes. Après ce temps la suspension sera filtrée et le filtrat analysé à la longueur d'onde d'absorption du colorant.

### **EFFETS DES PARAMETRES PHYSICO-CHIMIQUES SUR L'ADSORTION**

Plusieurs paramètres peuvent influencer l'élimination des colorants par les matériaux considérés. Nous pouvons citer : le pH, le temps de contact et la concentration initiale du polluant.

#### **1. Effet du pH**

Pour étudier l'effet du pH sur l'adsorption du colorant à température ambiante, on mélange, dans un flacon de 250 ml, un volume de 50 ml de la solution du colorant à 25 mg/L et 500 mg des matériaux pendant une heure. Une agitation magnétique est assurée avec une vitesse de 400 tours par minute.

Le pH de la solution est suivi à l'aide d'un pH-mètre et l'intervalle de pH étudié est pris entre 1 et 10.

#### **2. Effet du temps de contact**

Pour déterminer l'effet du temps de contact sur l'adsorption du colorant, des volumes de 50mL de la solution du colorant à 25 mg/L, sont mis en contact avec une masse de 500 mg des différents matériaux à des intervalles de temps compris entre 0 et 360 minutes (ou plus).

La concentration instantanée du polluant est déterminée immédiatement par analyse spectrale à une longueur d'onde  $\lambda_{max}$ .



**3. Etablissement des isothermes d'adsorption**

Les isothermes sont réalisées dans des suspensions contenant 50mL de colorant, à des concentrations initiales variables (10, 20, 30, 40, 50, 100, 200, 300 et 500mg/L), et 500mg des différents matériaux. Le pH des suspensions est ajusté selon les résultats de l'étude du pH. L'isotherme est obtenue à température ambiante. Pour chaque isotherme, nous avons appliqué nos résultats à deux modèles d'adsorption : le modèle de Langmuir et le modèle de Freundlich.

**Malheureusement, la partie pratique n'a pas été réalisée à cause de la situation sanitaire qui nous a obligé à désertier les laboratoires.**

CONCLUSION

## CONCLUSION

---

### CONCLUSION

Au cours de cette étude nous avons préparé un plan de travail qui comporte une partie théorique et une partie pratique. La partie théorique est composée de deux chapitres : le premier englobe des généralités sur la pollution des eaux et ses modes de traitement, et le deuxième est un aperçu sur le phénomène d'adsorption avec les lois qui le régissent.

La partie pratique n'a pas été réalisée, elle devrait comporter une étude spectrale des matériaux qui nous donnera une idée sur la composante de leur surface et, une étude en batch de l'élimination d'un modèle de pollution, qui est dans notre cas un colorant industriel. Cette dernière fera ressortir des capacités d'adsorption maximale de chaque matériau, ce qui nous permettra de classer ces matériaux par ordre d'affinité vis-à-vis du colorant.

## Références

Abdallah A. et Bouguerra M.,2019;Elimination du chrome hexavalent Par adsorption sur le charbon actif obtenu à partir de liège, mémoire de master. Université de Jijel

Aga S, 2015; étude cinétique et thermodynamique de l'adsorption de quelques colorants textiles par des résidus issus de l'industrie agroalimentaire, mémoire de magister. Université ferhat abbas setif

Alouane et Bouchifat, 2017.Gestion des sous-produits de l'épuration des eaux usées urbaines de la station d'épuration de la ville de Bouira .Mémoire de master. Université Akli Mohand Oulhadj – Bouira

Arris sihemepouse chebira,2008; étude expérimentale de l'élimination des polluants organiques et inorganiques par adsorption sur des sous-produits de céréales, mémoire de doctora .université de constantine.

Bahia M, 2015, adsorption des polluants organiques et inorganiques sur des substances naturelles : kaolin, racines de calotropisprocera et noyaux de dattes .thèse. universite de lorraine.

Ben Chehem Meriem , Bouazza Hanane , Labbaz Lamia.2014. Inventaire des études scientifiques relatives à la réutilisation des eaux usées dans le domaine piscicole. mémoire de licence. Université Kasdi Merbah - Ouargla

Benamraoui f, 2014, élimination des colorants cationiques par des charbons actifs synthetises a partir des residus de l'agriculture. mémoire de magister. Université ferhat abbas setif

Benguega S et Lakehal L.2016.Etat de fonctionnement de la station d'épuration des eaux usées de la base 24 fevrier sonatrach, et proposition d'amélioration. Université kasdi merbah Ouargla.

Berberassia,2016; étude de l'adsorption et de la désorption de l'amoxicilline sur un charbon actif à base de pédicelle de datte. Mémoire de magister. Université des sciences et technologie houari boumediene.

Bouacherine S. ,2013; éliminations des polluants spécifiques par adsorption sur charbon actif et argile traitée et non traitée. mémoire de magister. Université mohamed cherifmessaadia –souk-ahras

**BOUAZZA F, 2019. Adsorption des polluants organiques par des argiles modifiées par la cellulose.** Mémoire de Doctorat. Université Abou-Bekr Belkaid – Tlemcen.

Boumediene m.2013.Bilan de suivi des performances de fonctionnement d'une station d'épuration a boues actives : cas de la stepain el houtz. Mémoire de licence. Université aboubekr belkaid.

Daas n. , 2015; synthèse et caractérisation des matériaux modifiés : application a l'élimination des micropolluants. mémoire de magister. Université ferhat abbas setif

DEBABECHE L., 2019. L'adsorption des substances humiques par charbon activé préparé à partir des coquilles des noyaux d'abricots de N'gaous. Mémoire de MASTER. Université Mohamed Khider de Biskra

Dorra I. ,2016:élimination du cuivre en solution par la sciure de bois, universite du quebec

Hamma N Moussouni S 2019.Analyse des eaux usées épurées de la Station d'épuration de Souk el Tenineen vue d'une Valorisation agricole. Mémoire de master. Université A. Mira – Béjaïa

Khalfaoui a. , 2012; étude expérimentale de l'élimination de polluants organiques et inorganiques par adsorption sur des matériaux naturels: application aux peaux d'orange et de banane, thèse. Université mentouri de Constantine

Madani M, 2015.Conception et dimensionnement d'une station d'épuration des eaux usées du complexe RhourdeNouss. Mémoire de master. Université Abdelhamid Ibn Badis Mostaganem

Nadir B. ,2018; Enlèvement d'un colorant cationique à partir de solutions aqueuses par un matériau sorbant non conventionnel et à faible coût, Mémoire de Master .Université badjimokhtar-Annaba

## Résumé

Dans ce mémoire, nous avons opté pour l'utilisation de divers matériaux naturels dans l'épuration des eaux. Cette étude nous permettra, à la fin de sa réalisation, d'avoir des données qui vont nous permettre de faire une comparaison de l'efficacité des différents matériaux par rapport à leur aptitude à éliminer un polluant organique. Les résultats bruts obtenus, vont constituer une base de données à la modélisation en exploitant des modèles mathématiques concernant la cinétique d'adsorption et les isothermes d'adsorption. Ces résultats vont permettre le classement des matériaux par rapport à leur capacité d'adsorption quelle que soit les conditions opératoires.

Mots clés : Eaux usées, colorant, matériaux naturels, capacité d'adsorption, modélisation.

## Abstract

In this brief, we have opted for the use of various natural materials in water purification. This study will allow us, at the end of its implementation, to have data that will allow us to compare the effectiveness of different materials with respect to their ability to eliminate an organic pollutant. The raw results obtained will constitute a modeling database by exploiting mathematical models concerning the kinetics of absorption and the isotherms of absorption. These results will allow the classification of materials with respect to their adsorption capacity regardless of the operating conditions.

Key words: Wastewater, dye, natural materials, adsorption capacity, modeling.

## ملخص

في هذه المذكرة ، اخترنا استخدام العديد من المواد الطبيعية في تنقية المياه. ستسمح لنا هذه الدراسة ، في نهاية تحقيقها ، بالحصول على بيانات تسمح لنا بإجراء مقارنة بين كفاءة المواد المختلفة مقارنة بقدرتها على التخلص من الملوثات العضوية. وستشكل النتائج الأولية التي تم الحصول عليها قاعدة بيانات للنمذجة باستخدام النماذج الرياضية المتعلقة بحركية الامتزاز وتساوي حرارة الامتزاز. ستسمح هذه النتائج بتصنيف المواد حسب قدرتها على الامتصاص بغض النظر عن ظروف التشغيل. الكلمات المفتاحية: مياه الصرف الصحي ، الملون ، المواد الطبيعية ، قدرة الامتصاص ، النمذجة.