



Université Mohamed Khider de Biskra  
Faculté des sciences et de la technologie  
Département de chimie industrielle

# MÉMOIRE DE MASTER

Domaine : Sciences et Techniques  
Filière : Génie des procédés  
Spécialité : Génie des procédés de l'environnement

Réf. : .....

---

Présenté et soutenu par :  
**Allaoua Smail**

Le : samedi 6 juillet 2019

*Etude d'adsorption des substances humiques sur un  
biomatériau à issu de coques de noix.*

---

## Jury :

Dr.	Fadel Ammar	MCA	Université de Biskra	Président
Dr.	Diafi Malika	MCA	Université d'appartenance	Examineur
Dr.	Aidi Amel	MCA	Université d'appartenance	Rapporteur

Année universitaire : 2018 - 2019

# Remerciement

Un grand remerciement à mon bon dieu, le tout puissant qui m'a fourni la volonté et la réalisation de ce travail.

Ainsi, j'adresse ma gratitude, mes remerciements les plus sincères à **Dr Aidi Amel**, enseignante à l'Université de Biskra, pour l'intérêt qu'elle a accordé à mes travaux de recherche.

Je suis très reconnaissant à **Dr Fadel Amar, Dr Diafi Malika** pour l'honneur qu'elle m'a fait en participant à ce jury.

Je tiens aussi à remercier beaucoup mes parents pour leurs sacrifices, n'ont jamais cessé de m'encourager et m'ont toujours soutenu dans les moments plus difficiles.

Je remercie toute la famille dont les conseils, les remarques, et les encouragements nous ont été très significatifs.

**A tous merci**



## *Dédicace*

*Je remercie Allah de m'avoir donné le courage,  
la force et la volonté pour réaliser ce travail.*

*Je dédie ce mémoire :*

*A ma très chère mère, à qui je témoigne ma profonde  
affection et mon grand respect pour ses sacrifices,  
sa compréhension et ses encouragements.*

*A mon très cher père, qui m'a toujours aidé afin  
d'atteindre ce niveau.*

*A mes très cher frères et sœurs pour ses encouragements.*

*A toute la famille Alloua*

*A tous mes amis chacun avec son nom*

*A toute les amis d'études surtout ceux  
de chimie industrielle Promotion 2019.*

*Alloua smail.*



## ***LISTE DES FIGURES***

	<b>Titre</b>	<b>Page</b>
	<b>PARTIE I : ETUDE BIBIOGRAPHIQUE</b>	
<i><b>Chapitre I</b></i>	<b>Figure I.1</b> : Conséquences de la bioaccumulation après déversement de substances toxiques (insecticides) dans un cours d'eau.	<b>11</b>
<i><b>Chapitre II</b></i>	<b>Figure II.1</b> : Représentation schématique du phénomène d'adsorption sur charbon actif en grain.	<b>20</b>
	<b>Figure II.2</b> : Représentation schématique des différents types de pores.	<b>27</b>
	<b>Figure II.3</b> : Représentation schématique de la surface interne et externe d'un adsorbant.	<b>28</b>
	<b>Figure II.4</b> : Structure cristalline : (a) graphite ; (b) charbon actif	<b>30</b>
	<b>Figure II.5</b> : Réactions types rencontrées lors l'activation physique.	<b>33</b>
	<b>Figure II.6</b> : Schéma général de fabrication des charbons actifs	<b>34</b>
	<b>PARTIE II: ETUDE EXPERIMENTALE</b>	
<i><b>Chapitre III</b></i>	<b>Figure III.1</b> : nettoyage de coques de noix.	<b>35</b>
	<b>Figure III.2</b> : (a) broyage ; (b) tamisage de coques de noix.	<b>36</b>
	<b>Figure III.3</b> : Les creuser dans le four à moufle.	<b>37</b>
	<b>Figure III.4</b> : Lavage de charbon actif.	<b>37</b>
	<b>Figure III.5</b> : Les échantillons de charbon actif fabriqué	<b>38</b>
	<b>Figure III.6</b> : Spectres IR de charbon actif extrait de coques de noix.	<b>39</b>
	<b>Figure III.7</b> : Courbe d'étalonnage de la substance humique.	<b>40</b>
	<b>Figure III.8</b> : Le procédé d'agitation.	<b>41</b>
	<b>Figure III.9</b> : Le procédé de séparation solide-liquide : filtration.	<b>41</b>

<b>Figure III.10</b> : l'effet de différents volumes de NaOH sur l'adsorption de substances humiques.	<b>42</b>
<b>Figure III.11</b> : l'effet de différents volumes de NaOH sur le rendement d'adsorption pour le charbon actif sans carbonisation.	<b>43</b>
<b>Figure III.12</b> : Influence de la masse du charbon actif sur l'adsorption de substances humiques.	<b>44</b>
<b>Figure III.13</b> : Influence de la masse du charbon actif sur le rendement d'adsorption de substances humiques.	<b>44</b>
<b>Figure III.14</b> : Variation de la concentration résiduelle de substance humique en fonction du temps de contact.	<b>45</b>
<b>Figure III.15</b> : Rendement d'élimination de substance humique en fonction de temps de contact.	<b>46</b>
<b>Figure III.16</b> : suivi de la concentration résiduelle de substance humique en fonction de la vitesse d'agitation.	<b>47</b>
<b>Figure III.17</b> : Rendement d'élimination de substance humique en fonction de la vitesse d'agitation.	<b>47</b>
<b>Figure III.18</b> : Variation de la concentration résiduelle de substance humique en fonction de la température.	<b>48</b>
<b>Figure III.19</b> : Rendement de l'adsorption de la substance humique en fonction de la température.	<b>49</b>
<b>Figure III.20</b> : Variation de la concentration résiduelle de substance humique en fonction de ph.	<b>50</b>
<b>Figure III.21</b> : Rendement de l'adsorption de la substance humique en fonction de ph.	<b>50</b>
<b>Figure III.22</b> : présentation du modèle de Freundlich.	<b>52</b>
<b>Figure III.23</b> : la courbe de la linéarisation de la constante de distribution en fonction de la température pour le charbon actif extrait de coques de noix.	<b>54</b>

## Sommaire

### Remerciement

### Dédicace

### Sommaire

### Liste des figures

### Liste des tableaux

### Introduction générale

## PARTIE I : ETUDE BIBLIOGRAPHIQUE

### Chapitre I : Généralité sur la pollution

I.1 Introduction	3
I.2 La pollution et les polluants organiques	4
I.2.1 La pollution des eaux	4
I.2.2 La pollution naturelle	4
I.2.3 La pollution industrielle	4
I.3 Les types de polluant	5
I.3.1 Polluants organiques	5
I.3.2 Polluants inorganiques	6
I.4 Paramètres de pollution des eaux	8
I.4.1 Les matières en suspension (MES)	8
I.4.2. Matières volatiles en suspension (M.V.S)	8
I.4.3. Les sels minéraux	8
I.4.4 Les éléments nutritifs	8
I.4.5 Les micro-organismes	9
I.4.6 Les matières colorantes	9
I.4.6.1 L'origine de matières colorantes	9
I.4.6.2 La toxicité des colorants	9

I.4.6.3 L'utilisation des colorants	10
I.5 Bioaccumulation	10
I.6.1 Les métaux lourds	11
I.6.2 La toxicité des métaux lourds	12
I.7 Les acides organiques	12
I.7.1 Acide acétique	12
I.7.1.1 Propriétés physico-chimiques	13
I.7.1.2 Toxicité sur l'homme	13
I.7.1.3 Effets cancérogènes	14
I.7.2 Acide formique	14
I.7.2.1 Propriétés physico-chimiques	15
I.7.2.2 Toxicité sur l'homme	15
I.7.3 Acide citrique	16
I.7.3.1 Propriétés physico-chimiques	16
I.7.3.2 Toxicité sur l'homme	17
I.7.4 Acide propénoïque	17
I.7.4.1 Propriétés physico-chimiques	18
I.7.4.2 Toxicité sur l'homme	18

## **Chapitre II : Généralité sur l'adsorption**

II.1.Introduction	19
II.2. Définition et description générale de l'adsorption	19
II.3. Type d'adsorption	19
II.3.1. Adsorption physique	19
II.3.2 Adsorption chimique	20
II.4. Description du mécanisme d'adsorption	20

II.5. Equilibre d'adsorption	21
II.6. Isotherme d'adsorption	22
II.6.1. Isotherme d'adsorption de Langmuir	22
II.6.2. Isotherme de Freundlich	22
II.6.3. Isotherme de B.E.T	22
II.7. Modélisation de la cinétique d'adsorption	23
II.7.1. Cinétique du pseudo premier ordre (équation de Lagergren)	23
II.7.2. Cinétique du second ordre	24
II.8. Facteurs influençant l'adsorption	25
II.9. Les adsorbants les plus utilisés	25
II.10. Principaux types d'adsorbants	26
II.11. Les propriétés des adsorbants	27
II.11.1. Structure poreuse	27
II.11.2. La surface spécifique	28
II.12. Charbon actif	28
II.12.1. Historique	28
II.12.2. Définition	29
II.12.3. Le charbon actif comme adsorbant	29
II.12.4. Structure du charbon actif	30
II.12.5. Types de charbon actif	31
II.12.5.1. Charbon actif en poudre (CAP)	31
II.12.5.2. Utilisation du charbon actif en poudre	31
II.12.6. Charbon actif granulé (CAG)	31
III.6.1. Utilisation du charbon actif granulé	31
II.12.7. Préparation du charbon actif	32
II.12.7.1. Choix du matériau d'origine	32
III.7.2. Carbonisation	32

II.12.7.3. L'Activation	32
II.12.7.3.1. L'activation physique	33
II.12.7.3.2. L'activation chimique	33
II.12.7.4. Traitements supplémentaires	34

## **PARTIE II: ETUDE EXPERIMENTALE**

### **Chapitre III : Activation de charbon actif et rétention de SH**

III.1. Les produits et les équipements utilisés	35
III.2. Préparation de charbon actif à partir des coques des noix	35
III.2.1. Préparation de la matière première	35
III.2.2. L'activation chimique par Hydroxyde de sodium	36
III.2.3. Lavage de charbon actif	37
III.4. Analyse structurale par spectroscopie IR-TF	38
III.5. Préparation de la solution mère de substance humique	40
III.5.1. Dosage des substances humiques	40
III.6. Description des essais d'adsorption de substance humique sur les charbons actifs	41
III.7. Etude de l'effet de différents volumes de NaOH sur le rendement d'adsorption pour le charbon actif sans carbonisation	42
III.8. Optimisation des conditions opératoires d'adsorption de substance humique par le charbon actif extrait de coques de noix	43
III.8.1. Masse de charbon actif	43
III.8.2. Temps de contact	45
III.8.3. Vitesse d'agitation	46
III.8.4. Effet de la température	48
III.8.5. Effet de PH	49

III.9. Détermination des isothermes d'adsorption pour le charbon actif extrait de coques de noix	51
III.9.1. Isothermes d'adsorption pour le charbon actif extrait de coques de noix	51
A. Loi de Freundlich	51
B. Loi de Langmuir	52

### **Conclusion générale**

### **Référence bibliographique**

# LISTE DES TABLEAUX

<i>Chapitre</i>	<i>Tableaux</i>	<i>Page</i>
	<b><i>PARTIE I : ETUDE BIBLIOGRAPHIQUE</i></b>	
<b><i>Chapitre I</i></b>	<b>Tableau I.1:</b> Seuil de toxicité de polluants organiques.	<b>06</b>
	<b>Tableau I.2 :</b> Seuil de toxicité des polluants minéraux en France.	<b>07</b>
	<b>Tableau I.3 :</b> Représentation des paramètres physico-chimiques d'acide acétique.	<b>13</b>
	<b>Tableau I.4 :</b> Représentation des paramètres physico-chimiques d'acide formique.	<b>15</b>
	<b>Tableau I.5 :</b> Représentation des paramètres physico-chimiques d'acide citrique.	<b>16</b>
	<b>Tableau I.6 :</b> Représentation des paramètres physico-chimiques d'acide propénoïque	<b>18</b>
<b><i>Chapitre II</i></b>	<b>Tableau II.1:</b> Les différences entre l'Adsorption physique et chimique.	<b>21</b>
	<b>Tableau II.2 :</b> caractéristiques des principaux adsorbants industriels.	<b>26</b>
	<b><i>PARTIE III: ETUDE EXPERIMENTALE</i></b>	
<b><i>Chapitre III</i></b>	<b>Tableau III.1 :</b> différents volumes de (NaOH) pour l'activation chimique.	<b>36</b>
	<b>Tableaux III.2 :</b> Bandes infrarouges observées dans les spectres IRTF de charbon actif.	<b>39</b>
	<b>Tableau III.3 :</b> Résultat de l'étalonnage de la substance humique.	<b>40</b>
	<b>Tableau III.4 :</b> Résultats pour le tracé l'isotherme de Freundlich.	<b>52</b>
	<b>Tableau III.5 :</b> Résultats pour le tracé l'isotherme de Langmuir.	<b>53</b>
	<b>Tableaux III.6:</b> paramètres des modèles de Langmuir et Freundlich.	<b>54</b>

## *Introduction générale*

La protection de l'environnement est devenue une préoccupation majeure de notre société, encourageant donc le développement de procédés pour l'amélioration des méthodes de dépollution, tout en axant sur la réduction des facteurs sources de pollution.

La nécessité de comprendre les mécanismes intervenant dans ces processus a conduit à de nombreux travaux de recherches tant que au niveau fondamental qu'appliqué.

Le terme 'pollution', doit être réservé à une contamination qui engendre une perturbation du milieu, ou de l'usage normal qui en est fait habituellement.

Depuis quelques années, les dangers potentiels des pollutions pour l'équilibre écologique et la santé publique sont considérés avec une inquiétude croissante par les pouvoirs publics. La problématique « eau polluée » est devenue une préoccupation essentielle.

Le rejet brutal et massif de résidus toxiques dans le milieu naturel a conduit à l'apparition de nombreux risques pour l'équilibre du milieu naturel et des écosystèmes, mais aussi pour l'homme lui-même, le producteur de ces déchets, et instigateur de ce grand déséquilibre. Ceci a donc stimulé et encouragé l'amélioration des techniques de dépollution existantes et le développement de nouveaux procédés, permettant de satisfaire et de se conformer aux normes internationales de plus en plus restrictives.

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.

L'adsorption est l'une des techniques les plus adoptées pour cette élimination de polluants, à cause de sa grande capacité d'épurer les eaux contaminées. Le charbon actif est l'adsorbant le plus couramment utilisé mais reste très onéreux et nécessite en plus une régénération, constituant un facteur limitant. Ceci a donc encouragé des travaux de recherche en les orientant vers des procédés de traitement faisant appel à des matériaux naturels moins coûteux et largement disponibles.

La présente étude s'inscrit dans cette perspective en essayant de tester un matériau issu de déchet agro-alimentaire comme les coques des noix, afin d'éliminer certains polluants organiques, par adsorption, et aussi améliorer leur capacité de rétention par activations chimiques.

## Introduction générale

---

Par conséquent, le manuscrit présentant ce travail est entamé par cette introduction générale qui donne une idée sur l'importance du thème abordé tout en exposant clairement l'objectif visé.

Ce mémoire comporte trois chapitres :

- Le premier chapitre c'est une approche bibliographique, permettant de remplacer les connaissances sur la pollution en insistant sur les caractéristiques physico-chimiques, les effets cancérogènes, et la toxicité sur l'homme.
- Le deuxième chapitre est consacré à la présentation des généralités sur l'adsorption, essentiellement les différents paramètres influant sur l'adsorption et leur classes et les leurs modèles les plus utilisés pour la description de ce phénomène.
- Dans le troisième chapitre, nous exposerons les résultats expérimentaux obtenus lors de l'étude de la capacité à éliminer les substances humique par le procédé d'adsorption par l'adsorbant en fonction de plusieurs paramètres.
- Une conclusion générale récapitule les principaux résultats obtenus au cours de ce travail ainsi que des recommandations futures pour une éventuelle amélioration un matériau utilisé.

## I.1. Introduction :

La pollution des eaux et des sols, accidentellement ou volontairement par certains produits chimiques d'origine industrielle (hydrocarbures, phénols, colorants, acides organiques...) ou agricole (pesticides, engrais,...) est 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.

Les produits chimiques en général ont une certaine toxicité, sont considérés comme des micropolluants cancérigènes et dangereux même lorsqu'ils existent sous forme de traces.

L'élimination de ces polluants à partir des rejets industriels est très souvent réalisée par des traitements chimiques classiques tels que : la coagulation-floculation, l'électrocoagulation entre autres, se sont révélés efficaces, mais dans la plupart des cas, très onéreux.

Le traitement par la technique d'adsorption est plus utilisé pour son efficacité dans l'abattement des micropolluants organiques, en mettant en jeu des interactions solide- liquide.

Les recherches se sont alors orientées vers les procédés de traitement utilisant les matériaux naturels tels que les matières agricoles (sciures de bois, déchets agricoles, charbons actifs...), l'alumine activée, certaines résines macromoléculaires mais surtout les argiles en raison de leur disponibilité et de leurs faibles coûts.

L'application du charbon actif en poudre ou en grains dans le domaine de traitement des eaux a commencé à se développer après la seconde guerre mondiale. Utilisé initialement durant la première moitié du siècle pour assurer la décoloration des eaux, le charbon actif a ensuite été employé pour ses propriétés adsorbantes dans le but d'éliminer les substances organiques dissoutes.

Actuellement, il est mis en œuvre dans de très nombreuses stations afin d'affiner la qualité des eaux. Associé de plus en plus souvent à d'autres méthodes de traitement, le charbon actif est utilisé à la fois comme matériau adsorbant et comme support bactérien en vue de l'abaissement de la teneur en matière organique et de l'élimination de la matière organique biodégradable [1].

## **I.2. La pollution et les polluants organiques :**

La pollution de l'eau est une altération de sa qualité et de sa nature qui rend son utilisation dangereuse et (ou) perturbe l'écosystème aquatique. Elle peut concerner les eaux superficielles (rivières, plans d'eau) et/ou les eaux souterraines. Elle a pour origines principales, l'activité humaine, les industries, l'agriculture et les décharges de déchets domestiques et industriels [2].

### **I.2.1. La pollution des eaux :**

Elle se manifeste principalement, dans les eaux de surface par :

- Une diminution de la teneur en oxygène dissous : les matières organiques, essentielles à la vie aquatique en tant que nourriture, peuvent devenir un élément perturbateur quand leur quantité est trop importante. Parmi les substances qui entraînent une importante consommation d'oxygène, notons en particulier les sous-produits rejetés par l'industrie laitière, le sang rejeté par l'industrie de la viande, les déchets contenus dans les eaux usées domestiques, etc. Cette diminution de l'O<sub>2</sub> dissous peut provoquer dans certains cas des mortalités importantes de poissons.
- La présence de produits toxiques : rejetées sous différentes formes, ces substances provoquent des effets qui peuvent être de deux formes : effet immédiat ou à court terme conduisant à un effet toxique brutal et donc à la mort rapide de différents organismes et effet différé ou à long terme, par accumulation au cours du temps, des substances chez certains organismes. La plupart des produits toxiques proviennent de l'industrie chimique, de l'industrie des métaux, de l'activité agricole et des décharges de déchets domestiques ou industriels [2].

### **I.2.2. La pollution naturelle :**

La teneur en substances indésirables n'est pas toujours le fait de l'activité humaine. Certains phénomènes naturels peuvent également y contribuer. Par exemple, le contact de l'eau avec les gisements minéraux peut, par érosion ou dissolution, engendrer des concentrations inhabituelles en métaux lourds, en arsenic, etc. Des irrptions volcaniques, des épanchements sous-marins d'hydrocarbures... peuvent aussi être à l'origine de pollutions [2].

### **I.2.3. La pollution industrielle :**

Si la pollution domestique des ressources est relativement constante, les rejets industriels sont, au contraire, caractérisés par leur très grande diversité, suivant l'utilisation qui est faite de

l'eau au cours du processus industriel. Selon l'activité industrielle, on va donc retrouver des pollutions aussi diverses que :

- des matières organiques et des graisses (abattoirs, industries agro-alimentaires...);
- des hydrocarbures (industries pétrolières, transports);
- des métaux (traitements 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 radioactifs).

Parmi les industries considérées traditionnellement comme rejetant des matières particulièrement polluantes pour l'eau, on citera, notamment, les industries agroalimentaires, papetière, la chimie, les traitements de surface, l'industrie du cuir [2].

### **I.3. Les types de polluants :**

Les eaux usées véhiculées par le réseau d'assainissement contiennent toutes sortes de résidus rejetés par les utilisateurs de l'eau courante, industriels, mais aussi de l'eau de pluie après ruissellement sur les chaussées, trottoirs et toitures de la ville.

Ces eaux résiduaires peuvent contenir des flottants, des matières en suspension et des matières dissoutes. La pollution chimique (minérale) libère dans ces dernières divers composés tels que les nitrates, les phosphates, des sels utilisés en agriculture ainsi que divers résidus rejetés par la métallurgie (Pb, Cd, Hg) et d'autres activités (hydrocarbures) [3].

#### **I.3.1. Polluants organiques :**

Les polluants organiques sont les plus nombreux et les plus dangereux. Certaines de ces substances sont même cancérigènes ou mutagènes, d'où l'importance de les éliminer. Ils peuvent être classés en phénols, hydrocarbures, colorants, détergents et pesticides, formant de loin, la première cause de pollution des ressources en eaux.

Ces matières organiques sont notamment issues des effluents domestiques (déjections animales et humaines, graisses, etc.) .Mais également des rejets industriels. Elles provoquent l'appauvrissement en oxygène des milieux aquatiques, avec des effets bien

évidents sur la survie de la faune. Ce sont aussi tous les déchets carbonés tels que la cellulose produite par les papeteries, le sucre ou le lactosérum des industries agro-alimentaires.

À l'inverse des matières en suspension (MES), elles constituent une nourriture de choix pour les microorganismes de l'eau et provoquent leur prolifération. Les matières organiques se mettent alors à vider le milieu de son oxygène, ce qui s'avère fatal pour la vie aquatique et les micro-organismes vont le chercher dans les sulfates dissous ( $\text{SO}_4^{-2}$ ), qu'elles réduisent en sulfure, qui se dégage sous forme de sulfure d'hydrogène, engendrant une odeur d'œufs pourris [3]. Le seuil de toxicité de polluants organiques est présenté sur le tableau (I.1) suivant:

**Tableau I.1:** Seuil de toxicité de polluants organiques

Polluants	Procédé aérobie (valeur limite en mg/l)	Nitrification (valeur limite en mg/l)	Procédé anaérobie
Hydrocarbures	50	50	50
Phénol	50(1000) **	10	(*)
Dinitrophénol	5	(*)	5
Pentachlorophénol	5	(*)	5
Pentachlorophénol	20	20	10
Pentachlorophénol	50	(*)	(*)
Chlorure	15000	(*)	(*)
Chlorure	40	(*)	(*)
Chlorure	20	(*)	(*)
Ammoniac	1600	(*)	(*)

(\*) : Résultats insuffisants.

(\*\*) : Après acclimations des bactéries.

### I.3.2. Polluants inorganiques :

Les éléments sous forme de traces, présents à l'état solide dans les sols, sont mis en circulation par l'érosion qui les met en solution ou suspension. Le ruissellement sur les surfaces imperméables (sols, chaussée) ainsi que les sources anthropiques s'ajoutent à ces sources naturelles liées à l'érosion. Les métaux lourds sont présents le plus souvent dans

l'environnement sous forme de traces: mercure, plomb, cuivre, arsenic, nickel, zinc, cobalt, manganèse. Les plus toxiques d'entre eux sont le plomb, le cadmium et le mercure. De nombreuses activités industrielles telles l'électronique, les traitements de surface, l'industrie chimique, utilisent des métaux d'où la possibilité de rejets dans l'environnement[3].

Généralement, l'implantation d'unités industrielles privilégie les sites à proximité des fleuves pour le transport de matières premières, pour l'alimentation en eau de refroidissement des installations et aussi pour les possibilités de rejets des effluents industriels. En effet l'eau a longtemps été l'exutoire qui permettait d'évacuer ces déchets, sans respect des normes. A titre indicatif le tableau (I.2) suivant présente le seuil de toxicité des polluants minéraux en France[4].

**Tableau I.2:** Seuil de toxicité des polluants minéraux en France

<b>Polluants</b>	<b>Procédé aérobie (valeur limite en mg/l)</b>	<b>Nitrification (valeur limite en mg/l)</b>	<b>Procédé anaérobie</b>
Cuivre	2	1	1
Zinc	5	0.5	5
Plomb	1	0.5	5
Chrome	5	2	5
Nickel	1	0.5	2
Cadmium	0.2	0.5	(*)
Sulfures	20(50) **	(*)	100
Cyanures	1(50) **	(*)	(*)

(\*) : Résultats insuffisants.

(\*\*) : Après acclimations des bactéries.

## **I.4. Paramètres de pollution des eaux :**

### **I.4.1. Les matières en suspension (MES) :**

Elles désignent toutes les matières organiques qui ne se solubilisent pas dans l'eau pour donner une eau trouble. Les MES diminuent la luminosité dans l'eau, donc freinent la photosynthèse. Les espèces végétales se développent plus difficilement, l'oxygène qu'elles produisent diminue dans le milieu, et les espèces animales en souffrent [5].

### **I.4.2. Matières volatiles en suspension (M.V.S) :**

Elles représentent la fraction organique des M.E.S, au constituant (70-80%) des M.E.S.

### **I.4.3. Les sels minéraux :**

Les sels minéraux représentent des polluants majeurs de par les masses mises en jeu ainsi que par leurs effets biologiques. Ils affectent la potabilité des eaux superficielles, même pour usages industriels si leur concentration est assez importante [5].

### **I.4.4. Les éléments nutritifs :**

L'agriculture n'est pas la seule responsable des rejets dans l'environnement d'azote, de phosphates et d'autres éléments nutritifs bien que dans les pays développés, elle joue un rôle majeur à cet égard et est d'environ les 2/3 des rejets d'azotes dans les masses superficielles d'eau douce et de mer et d'environ 1/3 de phosphore [5].

L'azote est déjà présent en abondance dans la nature comme résidu de la vie des végétaux (humus du sol), des animaux (lisiers) et des hommes (rejets d'eaux usées industrielles ou domestiques). Il peut aussi être apporté par des engrais minéraux de synthèse. Les nitrites sont rarement présents dans les eaux de surface (moins de 1mg/l), mais leur présence peut être suspecte car elle est souvent liée à une détérioration microbiologique de l'eau. En revanche, les nitrates (stade final de l'oxydation de l'azote) sont beaucoup plus abondants. Ils sont très solubles et peuvent s'infiltrer dans le sol et dans les eaux souterraines ou se déverser dans les cours d'eau par ruissellement. Les limites imposées en 2001 sont de 50 mg/L et de 0.1 à 0.5 mg/L pour les nitrates et nitrites, respectivement [5].

**I.4.5. Les micro-organismes :**

L'origine de la pollution microbiologique peut être au niveau de la ressource (eau brute, ouvrage de captage), mais elle peut être aussi dans le réseau ou dans les ouvrages de stockage. Aussi comme mentionné auparavant, au cours de son transport, l'eau peut subir des dégradations et notamment des contaminations microbiologiques. Ce sont, par exemple, les intrusions de pollutions extérieures par des retours d'eau ou des fuites, des phénomènes de corrosion ou de perméabilisations liés à la nature des matériaux [6].

**I.4.6 Les matières colorantes :**

Dans la pollution de l'eau industrielle, la couleur produite par les petites concentrations de colorants synthétiques dans l'eau est importante, car en plus d'avoir les effets toxiques possibles, la couleur de l'eau est visiblement désagréable. Les effluents de la teinture textile sont généralement très colorés, avec de grandes quantités des matières en suspensions organiques. Les colorants synthétiques sont conçus pour être récalcitrants à la biodégradation et donc les processus de traitement biologique sont inefficaces pour éliminer la couleur des eaux usées [7].

En outre, les produits de dégradation de certains colorants sont toxiques. L'adsorption est largement utilisée pour éliminer ces polluants des eaux usées.

**I.4.6.1. L'origine de matières colorantes :**

Les colorants furent, pendant très longtemps, extraits du milieu naturel: plantes, animaux et minéraux. Les premiers colorants synthétiques datent du milieu du 19<sup>ème</sup> siècle. L'évolution de l'industrie des colorants a été étroitement liée au développement de la teinture synthétique et de la chimie en générale.

Les matières colorantes modifient la transparence et l'éclairement du milieu; l'action chlorophyllienne s'en trouve ralentie, la production d'oxygène en est diminuée et il y a tendance à l'installation des conditions anaérobies [7].

**I.4.6.2. La toxicité des colorants :**

Les colorants synthétiques représentent aujourd'hui un groupe relativement large de Composés chimiques organiques rencontrés dans pratiquement toutes les sphères de notre vie quotidienne. Les effets cancérigènes des composés azoïques s'expriment indirectement par leurs

dérivés amines. Selon EPA, (1998), l'estimation des risques de cancer impose de fixer une concentration limite de 3.1 mg/L en colorant azoïque dans l'eau potable [7].

#### **I.4.6.3. L'utilisation des colorants :**

Pour voir l'importance de matières colorantes il suffit d'examiner l'ensemble des produits manufacturés dans les différents domaines d'application suivants:

- ✓ Textiles 60% ;
- ✓ Papiers 10% ;
- ✓ Matières plastiques et élastomères 10% ;
- ✓ Cuire et fourrures 3%.

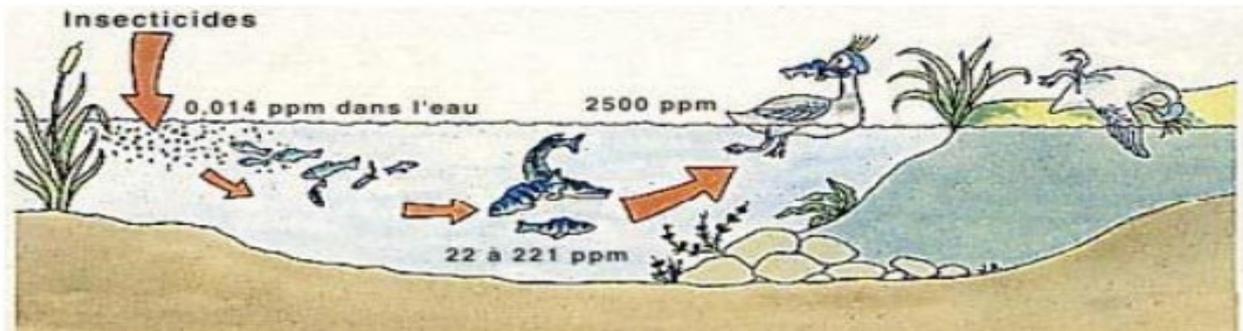
Les autres applications concernent les produits alimentaires, le bois, la photographie [7].

#### **I.5. Bioaccumulation :**

Si un organisme ne dispose pas de mécanismes spécifiques, soit pour empêcher la résorption d'une substance, 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 aller jusqu'à cent mille fois plus élevées que les concentrations initiales dans l'eau (illustration du phénomène de bioaccumulation de pesticides (figure I-1)).

La bioaccumulation caractérise le potentiel d'accumulation de la substance dans les tissus adipeux des organismes aquatiques. On peut exprimer le potentiel de bioaccumulation d'une substance par le facteur de bioconcentration (FBC) ; La bioconcentration signifie l'accumulation par l'organisme aquatique de substances à une concentration supérieure à celle mesurée dans l'eau. C'est ce qu'exprime le facteur de bioconcentration :

$FBC = C_{\text{organisme}} / C_{\text{eau}}$  [8].



**Figure I-1 :** Conséquences de la bioaccumulation après déversement de substances toxiques (insecticides) dans un cours d'eau [8].

### I.6.1 Les métaux lourds :

Le suivi des concentrations en métaux lourds (densité  $>$  à  $5 \text{ g/cm}^3$ ) est particulièrement important vu leur toxicité et leur capacité de bioaccumulation le long des chaînes alimentaires. Contrairement aux polluants organiques, les métaux ne peuvent pas être dégradés biologiquement ou chimiquement. Les concentrations en cuivre, nickel, chrome, plomb, zinc, cadmium, arsenic, sont régulièrement mesurées.

Les métaux lourds se dissolvent très bien dans une eau acide (Ph faible). Dans des eaux neutres ou basiques, ils précipitent et s'accumulent principalement dans la phase solide (boues). L'analyse de ces boues permet ainsi d'obtenir une vue de l'ensemble des déversements en métaux lourds qui ont eu lieu, tant en nature qu'en quantité. Les métaux lourds caractérisent certains types de pollution, comme par exemple :

- la présence de cuivre et de nickel signe des rejets provenant d'industries de traitement de surface des métaux ;
- le chrome dénonce la présence d'une tannerie ;
- plomb est lié à des pollutions diffuses (apports dus aux transports routiers et à l'existence de sites industriels désaffectés) ;
- le zinc est évacué par des industries qui pratiquent la galvanisation ou la préparation d'alliages tels que le laiton et le bronze, il est également libéré lors du contact entre les eaux de ruissellement et les matériaux galvanisés (toitures métalliques, gouttières) ;

-le cadmium peut notamment être rejeté par des usines de galvanoplastie et des industries chimiques de textiles et de teintures[9].

### **I.6.2. La toxicité des métaux lourds :**

La toxicité des métaux lourds a conduit les pouvoirs publics à réglementer les émissions en fixant des teneurs limites. Cette réglementation n'est cependant d'aucun secours pour déterminer sans ambiguïté une liste de métaux à surveiller car la liste varie selon les milieux considérés: émissions atmosphériques rejets dans l'eau, règles sur l'épandage des boues ou la mise en décharge, etc. Le quart de la contamination par les métaux lourds est dû aux ordures ménagères (piles au cadmium, batteries au plomb, cuivre et zinc des pesticides, etc.). Le devenir des métaux lourds dépend de nombreux facteurs parmi lesquels la nature du sol et son acidité. La toxicité des métaux lourds n'est plus à démontrer. Par exemple celle du mercure est connue depuis l'antiquité. Dans la majorité des cas les effets toxiques de ces métaux lourds se manifestent au niveau du système nerveux, le sang ou la moelle osseuse. Ils sont généralement cancérigènes [10].

### **I.7. Les acides organiques :**

Un acide organique est un composé organique présentant des propriétés acides, c'est à dire capable de libérer un cation (ion chargé positivement)  $H^+$ , ou  $H_3O^+$  en milieu aqueux [11].

#### **I.7.1 Acide acétique:**

L'acide acétique (du latin acetum) ou acide éthanoïque est un acide carboxylique de formule chimique :  $C_2H_4O_2$  ou  $CH_3COOH$ .

IL est utilisé depuis fort longtemps sous forme de vinaigre. Il est soluble dans l'eau. Il se présente sous forme liquide, incolore inflammable et hygroscopique. Il est plus efficace sur les levures et éventuellement les bactéries que sur les moisissures. C'est un réactif très utilisé dans l'industrie, notamment comme additif alimentaire, en photographie, dans la fabrication de plastiques tel que le polyéthylène téréphtalate (PET) ou l'acétate de cellulose, utile à la production d'acétate de vinyle (peintures, adhésifs) et de solvants organiques. L'acide acétique est produit de façon synthétique ou par fermentation bactérienne.

Aujourd'hui, la méthode biologique ne concerne plus que 10% de la production, mais elle demeure importante pour la fabrication de vinaigre car, dans la plupart des pays, la loi

dispose que le vinaigre à usage alimentaire doit être d'origine biologique. Environ 75% de l'acide acétique destiné à l'industrie chimique est produit par carbonylation du méthanol. La production totale d'acide acétique est estimée à 5 Mt/an (millions de tonnes par an), dont environ la moitié vient des États-Unis [12].

### I.7.1.1 Propriétés physico-chimiques : [13]

**Tableau I.3** : Représentation des paramètres physico-chimiques d'acide acétique.

Paramètres	Valeurs
Formule brute	C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> O <sub>2</sub>
Masse molaire	60,052 ± 0,0025 g·mol <sup>-1</sup>
Pka	4,76 à 25 °C
Moment dipolaire	1,70 ± 0,03 D
Diamètre moléculaire	0,442 nm
T°fusion	16,64 °C
Solubilité	Miscible avec l'eau, l'acétone, l'alcool, le benzène, le glycérol, l'éther, le tétrachlorure de carbone; Pratiquement insol. dans le disulfure de carbone Totalelement miscible à l'hexane, au toluène
Masse volumique	1,082 g·cm <sup>-3</sup> (liquide, 20°C)
T°d'auto inflammation	465 °C
Point d'éclair	39 °C (coupelle fermée)
Limites d'explosivité dans l'air	5,4–16 % vol
viscosité dynamique	1,22 mPa·s à 25 °C
Point critique	4,53 mPa à 319,56 °C
Pression de vapeur saturante	1,5 kPa à 20 °C
T° ébullition	117,9 °C

### I.7.1.2 Toxicité sur l'homme : [14]

L'acide acétique et ses vapeurs ou aérosols sont caustiques et peuvent provoquer des brûlures chimiques de la peau, des yeux et des muqueuses respiratoire et digestive.

En milieu professionnel, les principales voies d'exposition sont les voies respiratoire et Cutanée. L'exposition par inhalation à des vapeurs ou des aérosols d'acide acétique provoque immédiatement des signes d'irritation des voies respiratoires. À une concentration de 10 ppm, les vapeurs d'acide acétique sont faiblement irritantes, alors que l'exposition à une concentration atmosphérique de 1000 ppm n'est pas tolérable plus de 3 minutes.

### **I.7.1.3 Effets cancérigènes : [15]**

Une étude de mortalité rétrospective dans une cohorte de 1 359 salariés d'une usine de production d'acide acétique et d'anhydride acétique retrouve une augmentation du risque de mortalité par cancer de la prostate, sans effet dose réponse en fonction de la durée d'exposition.

### **I.7.2 Acide formique :**

L'acide formique (appelé aussi acide méthanoïque) est le plus simple des acides carboxyliques. Sa formule chimique est  $\text{CH}_2\text{O}_2$  ou  $\text{HCOOH}$ . C'est un acide faible qui se présente sous forme de liquide incolore à odeur pénétrante. Dans la nature on le trouve dans les piqûres de plusieurs insectes de l'ordre des hyménoptères, comme les abeilles et les fourmis, mais aussi sur les poils qui composent les feuilles de certaines plantes de la famille des urticacées (orties). Son nom vient du mot latin formica qui signifie fourmis, car sa première isolation a été réalisée par distillation de corps de fourmis. Sa dose journalière administrative (DJA) est fixée à 3 mg/kg de poids corporel [16].

**I.7.2.1 Propriétés physico-chimiques : [17]****Tableau I.4** : Représentation des paramètres physico-chimiques d'acide formique.

Paramètres	Valeurs
Formule brute	CH <sub>2</sub> O <sub>2</sub>
Masse molaire	46,0254 ± 0,0015 g·mol <sup>-1</sup>
Pka	3,751 (25 °C)
Moment dipolaire	1,425 ± 0,002 D
Diamètre moléculaire	0,381 nm
T°fusion	8,3 °C
T° ébullition	101 °C
Solubilité	1 000 g·l <sup>-1</sup> (eau, 25 °C); miscible avec l'éthanol, l'acétone et l'éther
Masse volumique	1,22 à 25 °C
T°d'auto inflammation	520 °C
Point d'éclair	69 °C
Limites d'explosivité dans l'air	14–34 %vol
Point critique	306,85 °C
Pression de vapeur saturante	42,6 mm Hg (25 °C)
Point triple	281,45 K (8,3 °C) 23,6 mbar

**I.7.2.2 Toxicité sur l'homme : [18]**

Les expositions à l'acide formique se traduisent par d'importants effets irritants sur la peau et les muqueuses (oculaires et respiratoires). L'acide formique pur ou en solution concentrée est fortement corrosif. L'ingestion est immédiatement suivie de douleurs buccales, rétro sternales puis abdominales et de vomissements.

Les complications risquant de survenir les jours suivants sont : une hémorragie digestive, une perforation œsophagienne ou gastrique, un choc, une acidose métabolique intense et/ou une coagulation intra vasculaire disséminée, une détresse respiratoire. L'évolution ultérieure est dominée par le risque de constitution de sténoses digestives, chez l'adulte, des intoxications sévères sont observées pour des prises supérieures ou égales à 30 grammes.

Les projections cutanées d'acide formique pur sont responsables de lésions caustiques locales sévères si une décontamination n'est pas rapidement réalisée. De même, les projections oculaires peuvent produire des opacités cornéennes définitives.

### I.7.3 Acide citrique : [19].

L'acide citrique est un acide alpha hydroxylé de formule  $C_6H_8O_7$ . Il est un produit naturel se trouvant dans les agrumes comme les citrons ou les oranges et dans de nombreux autres fruits. Il se forme aussi constamment comme produit intermédiaire dans le métabolisme du corps humain. En tant que conservateur et exhausteur de goût. Celui-ci est toujours utilisé comme additif lorsque le goût doit être frais et fruité, mais également, lorsque les produits doivent être conservés plus longtemps. Il est agressif et aussi utilisé comme détartrant pour les cafetières ou comme produit de nettoyage de toilettes. C'est pourquoi la loi prescrit les avertissements, irritant pour la peau et les yeux ou bien ne pas laisser à la portée des enfants sur les emballages.

#### I.7.3.1 Propriétés physico-chimiques :

**Tableau I.5** : Représentation des paramètres physico-chimiques d'acide citrique [20] :

Paramètres	Valeurs
Formule brute	$C_6H_8O_7$
Masse molaire	$192,1235 \pm 0,0075 \text{ g}\cdot\text{mol}^{-1}$
Pka	3,13 ; 4,76 ; 6,40
T°fusion	426 K (153 °C)
T°ébullition	Se décompose au-dessous du point d'ébullition à 175 °C
Solubilité	Soluble dans l'eau 592 g·l <sup>-1</sup> à 20°C. Soluble dans l'éther, l'acétate d'éthyle; insoluble dans le benzène, le chloroforme. Soluble dans l'éthanol (383 g·l <sup>-1</sup> à 25 °C)
Masse volumique	$1,665 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$ (20 °C)
T°d'auto inflammation	1 010 °C
Point d'éclair	100 °C
Limites d'explosivité dans l'air	0,28–2,29 %vol

### **I.7.3.2 Toxicité sur l'homme :**

Dangereux en cas de contact avec les yeux (irritant) d'inhalation (irritant pour les poumons). Légèrement dangereux en cas de contact cutané (irritant, sensibilisant), d'ingestion.

La quantité de tissus endommagée dépend de la durée de contact .Le contact avec les yeux peut entraîner la cornée dommages ou la cécité. Contact avec la peau peut causer une inflammation et la formation d'ampoules. Une sévère surexposition peut entraîner des troubles pulmonaires, étouffement, l'inconscience ou la mort. L'acide citrique peut attaquer les dents et peut provoquer une dissolution de la floraison dentaire. Il favorise aussi l'absorption de métaux comme le plomb ou l'aluminium dans le sang. Cela peut porter atteinte à l'activité du cerveau, conduire à des troubles de mémoire et d'apprentissage mais également jouer un rôle dans les maladies neurodé génératives comme la maladie d'Alzheimer ou la maladie de Parkinson en détruisant des cellules du cerveau. Des maladies de reins et de foie peuvent également en être la conséquence. Les dommages dentaires causés par l'acide citrique sont certainement les plus fréquents puisque l'acide se trouve dans beaucoup de thés pour enfants, dans les thés glacés, dans les limonades et dans d'autres boissons tels que les jus de fruits. A une étape avancée, les dents sont devenues petites, abîmées et colorées [21].

### **I.7.4 Acide propénoïque :**

L'acide propénoïque ou acide propénoïque (venant du grec "pion" voulant dire "gras") est un acide carboxylique saturé à 3 atomes de carbone. Les préopinâtes se trouvent naturellement dans les aliments fermentés. Commercialement, ils peuvent être dérivés de l'éthylène et de monoxyde de carbone ou du propionaldéhyde, de gaz naturel ou de pâte de bois fermentée. Cet acide se présente sous la forme d'un liquide incolore Soluble dans l'eau, corrosif et à l'odeur désagréable [22].

**I.7.4.1 Propriétés physico-chimiques :****Tableau I.6** : Représentation des paramètres physico-chimiques d'acide propénoïque [23] :

Paramètres	Valeurs
Formule brute	$C_3H_6O_2$
Masse molaire	$74,0785 \pm 0,0034 \text{ g}\cdot\text{mol}^{-1}$
Pka	4,87
T° fusion	-21 °C
T°ébullition	141 °C
Diamètre moléculaire	0,518 nm
Solubilité	Dans l'eau ; très bonne
Masse volumique	0,99 g·cm <sup>-3</sup>
T°d'auto inflammation	485°C
Point d'éclair	54 °C (coupelle fermée); 57 °C (coupelle ouverte)
Limites d'explosivité dans l'air	2,1–12 %vol
Pression de vapeur saturante	495,5 Pa à 25 °C
Viscosité dynamique	1.10-3pa.s
Point critique	54,0 bars, 338,85 °C

**I.7.4.2 Toxicité sur l'homme :**

Selon des études récentes, une trop grande quantité d'acide propénoïque dans l'organisme pourrait être la cause de certains cas d'autisme régressifs. Très dangereux en cas de contact cutané, et de contact avec les yeux (irritant), d'ingestion, d'inhalation. Liquide ou le brouillard de pulvérisation peuvent endommager les tissus, les yeux, la bouche et les voies respiratoires. Contact avec la peau peut provoquer des brûlures. L'inhalation du brouillard peut produire une grave irritation des voies respiratoires, caractérisée par une toux, la suffocation ou un essoufflement. L'inflammation des yeux est caractérisée par des rougeurs, des larmoiements et des démangeaisons. Inflammation de la peau est caractérisée par des démangeaisons, une rougeur, ou, occasionnellement d'ampoules [24].

## II.1.Introduction :

Le procédé de séparation par adsorption constitue aujourd'hui une des technologies les plus importantes, elle est largement utilisée pour la dépollution et la purification dans des domaines très variés, par exemple les industries pétrolières, pétrochimiques et chimiques, aux applications environnementales et pharmaceutiques.

Dans ce chapitre nous allons donner quelques généralités sur l'adsorption pour mieux définir l'importance de ce processus, expliquer sa cinétique, ses caractéristiques et les éléments influant l'adsorption[25] .

## II.2. Définition et description générale de l'adsorption :

L'adsorption est un phénomène d'interface (phénomène physique de fixation de molécules sur la surface d'un solide) pouvant se manifester entre un solide et un gaz, ou entre un solide et un liquide. Le phénomène est général pour toutes les surfaces.

Aux interfaces, les attractions intermoléculaires ne sont pas compensées dans toutes les directions, et il subsiste par des forces résiduelles dirigées vers l'extérieur. Ces forces représentent une énergie superficielle par unité de surface, comparable à la tension superficielle des liquides. Ces forces sont neutralisées lorsque des particules mobiles (un gaz ou un soluté) se fixent en surface, on dit qu'elles s'adsorbent. Cette adsorption se produit spontanément et s'accompagne d'une diminution de l'énergie libre du système, c'est un phénomène toujours exothermique.

L'étude des équilibres d'adsorption permet de connaître le degré maximal de séparation susceptible d'être obtenu dans des conditions thermodynamiques données.

La vitesse avec laquelle on s'approche de l'état d'équilibre relève de l'étude cinétique d'adsorption, celle-ci dépend de la vitesse avec laquelle les constituants du mélange à séparer diffusent dans l'adsorbant et dans le fluide [25].

## II.3. Type d'adsorption :

### II.3.1. Adsorption physique :

Appelée également physisorption, elle est caractérisée par une faible énergie de liaison inférieure à 10 Kcal/mol et elle correspond aux liaisons de nature électrostatique de type Van Der Waals [26].

Dans le cas d'une telle adsorption, le temps de rétention de la substance adsorbée est court et la surface adsorbant peut être recouverte de multiples couches moléculaires de produit adsorbé.

### II.3.2 Adsorption chimique :

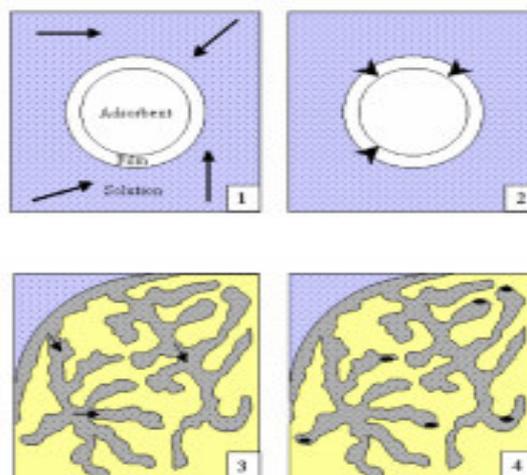
Appelée également chimisorption, elle met en jeu une énergie élevée (supérieure à 10 Kcal/mol) et correspond aux liaisons covalentes plus permanentes entre l'adsorbant et la molécule adsorbée. Les mécanismes les plus fréquents dans ce cas sont la protonation et l'échange d'ions. Dans ce type d'adsorption, le temps de rétention est long et seule la première couche liée à la surface adsorbante est chimiquement adsorbée, les autres couches dans le cas où elles existent, sont retenues par physisorption [27].

### II.4. Description du mécanisme d'adsorption :

Le mécanisme d'adsorption peut être décomposé en plusieurs étapes :

1. Diffusion de l'adsorbât à travers le film liquide entourant les particules de l'adsorbant ;
2. Transfert de la solution à l'intra particule sites actifs (diffusion interne) ;
3. Fixation sur des sites particuliers appelés sites actifs.

A l'heure actuelle, il n'existe pas de théorie générale permettant d'expliquer le phénomène d'adsorption [28].



**Figure II. 1** : Représentation schématique du phénomène d'adsorption sur charbon actif en grain [28].

**Tableau II. 1** : Les différences entre l'Adsorption physique et chimique [29] :

Propriétés	Adsorption physique	Adsorption chimique
Température du processus	Relativement basse à la température d'ébullition de l'adsorbât	Plus élevée
Chaleur d'adsorption	1 à 10 kcal/mol	Supérieur à 10 kcal/mol
Liaison	Physique de Van Der Waals	Chimique
Spécificité	Processus non spécifique	Processus spécifique
Désorption	Facile	Difficile
Cinétique	Rapide	Lente
Formation de couches	Formation de multicouches	Formation de monocouche

## II.5. Equilibre d'adsorption :

Pour décrire les performances d'un système adsorbât/adsorbant, des modèles théoriques et empiriques ont été développés, décrivant la relation entre la masse d'adsorbât fixée à l'équilibre et la concentration sous laquelle elle a lieu, à température constante. Il s'agit d'isotherme d'adsorption. Une isotherme est donc une courbe qui représente la variation de la quantité de soluté adsorbée par unité de masse d'adsorbant en fonction de la concentration à l'équilibre  $C_e$ .

Les trois isothermes les plus connues sont celles de Langmuir, de Freundlich et de Brunauer-Emmett-Teller (BET) [30].

## II.6. Isotherme d'adsorption :

### II.6.1. Isotherme d'adsorption de Langmuir :

L'équation de Langmuir suppose que l'adsorption a lieu sur des sites de même énergie et qu'il n'y a pas d'interaction entre les molécules adsorbées.

Elle est applicable à l'adsorption mono moléculaire et s'exprime par :

$$q = \frac{x}{m} = q_m * \frac{b \cdot c_e}{1 + b \cdot c_e}$$

Où :

**q** : quantité de soluté adsorbée par unité de masse de l'adsorbant à l'équilibre (mg/g).

**q<sub>m</sub>** : capacité d'adsorption ultime (mg/g).

**C<sub>e</sub>** : concentration du soluté dans la phase liquide à l'équilibre (mg/l).

**b** : constante de Langmuir.

La linéarisation de l'équation de Langmuir donnée permet de déduire la capacité ultime  $q_m$  et la constante de dissociation  $K_d$  égale à  $1/b$  [30].

### II.6.2. Isotherme de Freundlich :

L'isotherme d'adsorption de Freundlich, présentée en 1926, repose sur l'équation empirique suivante :

$$q = k * c_e^{1/n}$$

**K**, **n** : constantes expérimentales qui dépendent respectivement de la nature de l'adsorbât et de l'adsorbant.

Cette isotherme est une isotherme empirique qui, contrairement à celle de Langmuir, tient compte de l'inégalité d'énergie d'adsorption des différents sites. [31].

### II.6.3. Isotherme de B.E.T :

L'isotherme de B.E.T, proposée en 1938, repose sur les hypothèses ci-dessous

- a- Plusieurs couches successives de molécules peuvent être fixées sur l'adsorbant ;
- b- Les sites d'adsorption sont distribués uniformément à la surface de l'adsorbant ;
- c- Chaque site est indépendant des sites voisins ;
- d- L'énergie d'adsorption retient la première couche de molécule, alors que l'énergie de condensation retient les couches successives suivantes. [31].

L'équation de l'isotherme d'adsorption de B.E.T est la suivante :

$$q = \frac{A.Ce.Qm}{(Cs - Ce) * [1 + (A - 1).Ce/Cs]}$$

Où :

$q_m$  : capacité ultime d'adsorption (mg/g) ;

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

$C_s$  : concentration de la matière dissoute à l'état de saturation (mg/l) ;

$A$  : constante liée à l'énergie d'interaction avec la surface.

### II.7. Modélisation de la cinétique d'adsorption :

La modélisation de la cinétique d'adsorption, c'est -à- dire la variation de la quantité de soluté adsorbée sur un support solide en fonction du temps a pour but l'identification des mécanismes contrôlant la vitesse de l'adsorption.

La littérature fournit plusieurs modèles cinétiques qui permettent de déterminer l'étape ou les étapes limitantes qui contrôlent le processus d'adsorption. Parmi ces modèles, on distingue le modèle du premier ordre, le modèle du second ordre et le modèle de diffusion intra-particulaire [32].

**II.7.1. Cinétique du pseudo premier ordre (équation de Lagergren) :**

C'est le plus ancien des modèles cinétiques, il a été proposé par Lagergren en 1898.

Son expression est de pseudo-premier ordre pour l'adsorption dans un système liquide-

$$\frac{dq_t}{dt} = k_1 (q_e - q_t)$$

$$\ln \left[ \frac{q_e - q_t}{q_e} \right] = -k_1 t$$

Avec :

$k_1$  : Constante de vitesse du premier ordre en  $\text{min}^{-1}$ ;

$t$  : Temps de contact en min ;

$q_e$  : Quantité de colorant adsorbée par unité de masse d'adsorbant à l'équilibre en mg/g ;

$q_t$  : Quantité de colorant adsorbée par unité de masse d'adsorbant à l'instant  $t$  en mg/g.

Les valeurs de  $k_1$  et  $q_e$  peuvent être calculées en portant graphiquement  $\ln (q_e - q_t)$  en fonction de  $t$ .

**II.7.2. Cinétique du second ordre :**

La vitesse d'adsorption de pseudo second ordre, établi par Blanchard, dépend de la quantité adsorbée à l'équilibre, le modèle du second ordre suit l'équation :

$$\frac{dq_t}{dt} = K_2 (q_e - q_t)^2$$

L'intégration de cette équation entre 0 et  $t$  pour le temps de contact adsorbant-adsorbant et entre 0 et  $q_t$  pour la quantité adsorbée conduit à :

$$\frac{1}{q_e - q_t} = 1/q_e + K_2 \cdot t$$

L'équation peut être réarrangée pour donner la forme linéaire suivante :

$$\frac{t}{q_t} = [1/(K_2 \cdot q_e^2)] + \frac{1}{q_e} t$$

Avec :

$k_2$  : Constante de vitesse du second ordre en  $\text{mg} \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$  ;

Dans le cas d'un système répondant à la cinétique de second ordre, la représentation de  $t/q_e$  en fonction de  $t$  conduit à une droite de pente  $1/q_e$  et d'ordonnée à l'origine  $1/k_2 \cdot q_e$ , permettant d'accéder à la constante de vitesse  $k_2$ .

Cette équation s'avère plus adaptée pour décrire les données expérimentales que le modèle première-ordre pour de nombreux systèmes d'adsorptions [32].

### II.8. Facteurs influençant l'adsorption :

L'efficacité d'un adsorbant vis-à-vis d'un adsorbât dépend d'un nombre important de paramètres dont les principaux sont: Les caractéristiques de l'adsorbant : polarité, volume poreux, surface spécifique, fonctions superficielles....

Les caractéristiques de l'adsorbât : polarité, solubilité, poids et saturation moléculaire...

Les paramètres physiques : tels que la température et le pH qui ont une influence considérable sur le phénomène d'adsorption.

Lors de l'adsorption, la valeur du pH joue souvent un rôle important, l'adsorption est maximale au point isoélectrique, car les liaisons avec l'eau y sont minimales [33].

### II.9. Les adsorbants les plus utilisés :

Il existe un nombre relativement important de matériaux adsorbants pouvant être utilisés dans des procédés d'adsorption liquide/solide. Chaque type d'adsorbant, conventionnel ou non-conventionnel, possède des avantages et des inconvénients. Le problème qui se pose est celui du choix du matériau en fonction du type de solution à épurer.

En général, le choix d'un matériau se fait exclusivement en fonction de sa capacité à dépolluer la solution, autrement dit de son efficacité (fort pouvoir de rétention).

Néanmoins, Gadd et Crini ont montré que d'autres critères doivent être pris en compte. En effet, pour être utilisé comme adsorbant, un matériau solide devrait posséder le maximum de caractéristiques (avantages) suivantes :

- a) être bon marché et facilement disponible ;
- b) posséder des caractéristiques texturales particulières en termes de granulométrie, de porosité et de surface spécifique ;
- c) être modulable (versatile) en fonction des utilisations potentielles tout en étant stable d'un point de vue chimique, thermique et/ou mécanique ;
- d) présenter de fortes capacités d'adsorption vis-à-vis d'une large gamme de polluants tout en ayant des cinétiques d'adsorption rapides ;
- e) présenter des sélectivités importantes ;
- f) être efficace tout en étant indépendant des conditions physico-chimiques de la solution (concentration, pH, force ionique, température, présence éventuelle de compétiteurs ou d'inhibiteurs...) ; g) être facilement régénérable si besoin.

Il n'existe pas de matériau « idéal » capable de répondre parfaitement à toutes ses caractéristiques. De plus, si on se place uniquement d'un point de vue des propriétés de décontamination d'un matériau donné, les performances peuvent fortement varier d'un matériau à un autre [34].

### II.10. Principaux types d'adsorbants :

Les principaux adsorbants employés dans l'industrie sont les charbons actifs, les zéolithes, les gels de silices, les alumines activées dont les caractéristiques sont récapitulées dans le tableau II.2 [35].

**Tableau II.2 :** caractéristiques des principaux adsorbants industriels [35] :

Adsorbant	Surface spécifique ( $\text{m}^2 \cdot \text{g}^{-1}$ )	Taille des pores (nm)	Porosité interne
Charbon actif	400 à 2000	1.0 à 4.0	0.4 à 0.8
Zéolithes	500 à 800	0.3 à 0.8	0.3 à 0.4
Gels de silice	600 à 800	2.0 à 5.0	0.4 à 0.5
Alumines activées	200 à 400	1.0 à 6.0	0.3 à 0.6

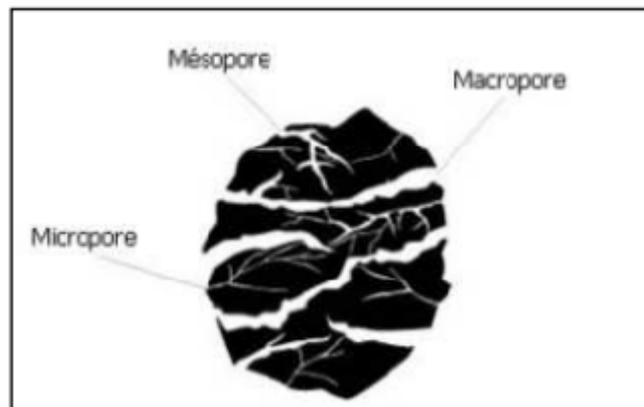
## II.11. Les propriétés des adsorbants:

### II.11.1. Structure poreuse :

Un solide poreux peut être défini à partir du volume de substance adsorbée nécessaire pour saturer tous les pores ouverts d'un gramme de ce solide. Un pore ouvert est un pore dont l'accès se situe à la surface du grain, il est donc accessible au fluide. Ce volume poreux, en  $\text{cm}^3 \cdot \text{g}^{-1}$ , est donc uniquement caractéristique de la porosité ouverte (Figure II-2).

Selon la classification I.U.P.A.C. (International Union of Pure and Applied Chemistry), les tailles de pores sont réparties en 3 groupes :

- les micropores de diamètre inférieur à 2 nm ;
- mésopores de diamètre compris entre 2 et 50 nm ;
- macropores de diamètre supérieur à 50 nm.

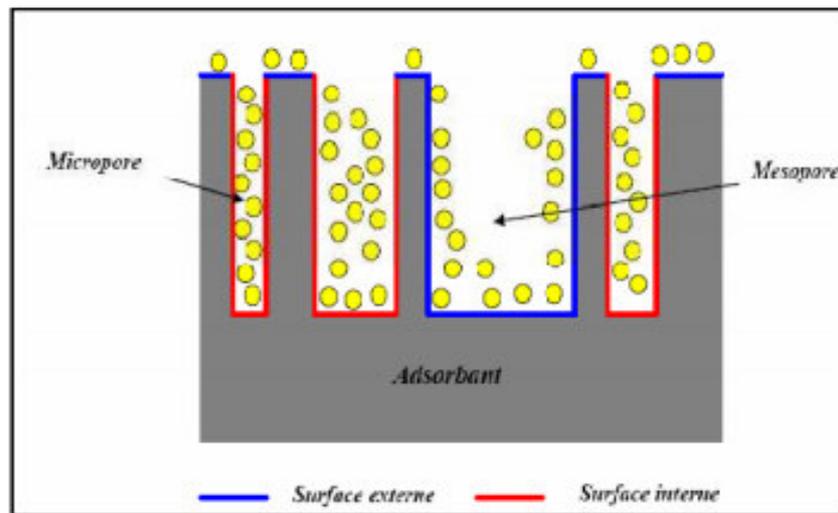


**Figure II-2** : Représentation schématique des différents types de pores [36].

Chaque type de pore joue un rôle particulier dans le phénomène d'adsorption. Les macropores permettent au fluide d'accéder à la surface interne du charbon actif. Les mésopores favorisent le transport de ce fluide et les micropores sont les sites de l'adsorption. Les micropores déterminent pratiquement à eux seuls la capacité d'adsorption d'un charbon actif : ils représentent presque la totalité de la surface offerte à l'adsorption [36].

### II.11.2. La surface spécifique :

La surface spécifique ou aire massique (en  $\text{m}^2 \cdot \text{g}^{-1}$ ) est la surface totale par unité de masse d'adsorbant accessible aux molécules. Toute la surface des particules de l'adsorbant est considérée, porosité ouverte comprise, pour le calcul de la surface spécifique qui cumule donc la surface intérieure de tous les pores constituant le grain d'adsorbant. La surface spécifique comprend la surface externe et la surface interne d'un adsorbant Figure II-3.



**Figure II.3:** Représentation schématique de la surface interne et externe d'un adsorbant [37].

La surface interne est la surface microporeuse représentée par les parois des micropores. La surface externe est la surface non-microporeuse qui comprend les parois des mésopores et des macropores, ainsi que la surface non poreuse de l'échantillon. D'un point de vue physique, la différence entre la surface interne et la surface externe est que la valeur de l'énergie d'adsorption peut être jusqu'à deux fois plus grande sur les parois des micropores que sur la surface externe. Ce phénomène s'explique par la présence de deux parois opposées proches créant une double interaction pour une molécule adsorbée dans un micropore [37].

## II.12. Charbon actif :

### II.12.1. Historique :

C'est en allumant son premier feu que l'homme a fabriqué son premier produit chimique : le charbon. L'exploitation des propriétés filtrantes du charbon de bois pour la purification et en médecine débute avec les égyptiens en l'an 1500 avant Jésus Christ. Quant aux

anciens hindous, ils filtraient déjà leur eau avec des charbons pour la rendre potable. L'industrialisation du charbon actif proprement dit commence au début du XXème pour répondre aux besoins des raffineries de sucre. Le charbon actif est alors utilisé comme décolorant. Ces premiers charbons actifs sont obtenus par carbonisation de matériaux végétaux en présence de chlorure métallique et par action du dioxyde de carbone ou de vapeur sur du charbon de bois. La production des charbons actifs s'intensifie pendant la première guerre mondiale en raison de la prolifération des gaz toxiques et du développement des masques à gaz. Le faible coût des charbons actifs et leur caractère non sélectif leur assurent leur place sur le marché des adsorbants, en dépit de l'apparition récente des nombreux concurrents décrits précédemment et en particulier des zéolites, les principales rivales des charbons actifs qui présentent les mêmes propriétés que les charbons actifs en terme de conductivité et de résistance à la chaleur avec une répartition de taille de pores très étroite [38].

### **II.12.2. Définition :**

Le charbon actif est un carbone poreux inerte qui a subi un traitement pour augmenter sa surface. Il possède ainsi une très grande surface spécifique pouvant aller de 500 à 2000  $\text{m}^2 \cdot \text{g}^{-1}$  d'où sa grande capacité d'adsorption [39].

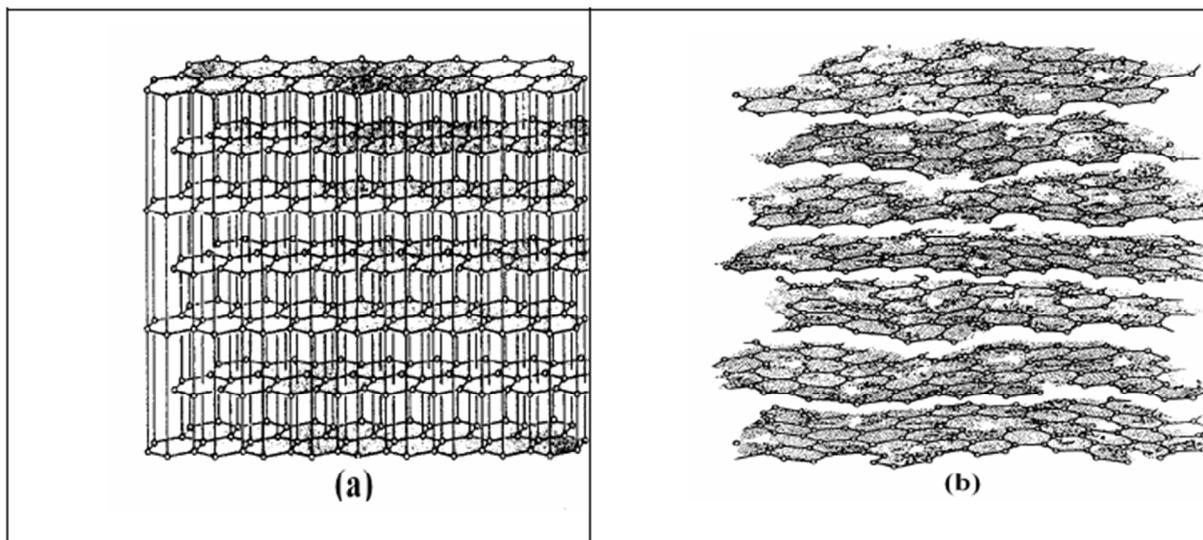
### **II.12.3. Le charbon actif comme adsorbant :**

Les charbons actifs sont de loin les adsorbants les plus fabriqués et utilisés dans de nombreuses applications domestiques et industrielles notamment dans les domaines de la purification de l'eau, et de l'air. Le pouvoir d'adsorption des charbons actifs est attribué à la porosité, la surface spécifique, et les groupements fonctionnels de surface, comme le rapportent. Les caractéristiques des charbons actifs varient en fonction du précurseur (matériau de départ), de méthode de préparation et les conditions de traitement (température de pyrolyse et le temps d'activation...ect). Ils peuvent être présentés sous trois formes différentes : grain, poudre, ou fibres. La différence entre charbons actifs en grain et en poudre est établie sous la base de critères granulométriques : la taille moyenne des particules est inférieure à 0,18 mm pour le charbon actif en poudre et inférieure à 0,6 mm pour le charbon actif en grain. Le cas des fibres ne sera pas abordé, du fait de leur utilisation limitée dans le domaine du traitement des eaux. De nombreux matériaux carbonés, tels que le bois, les coquilles de noix de coco, le charbon naturel, les résidus d'agricultures sont utilisés comme précurseurs pour la préparation de charbons actifs. Le processus de fabrication de ces adsorbants

comporte deux grandes étapes : la carbonisation et l'activation. Il existe deux procédés d'activation qui sont l'activation physique et l'activation chimique. Cette dernière, notent, permet d'obtenir un meilleur rendement, une plus grande surface spécifique et un meilleur développement de la structure poreuse du charbon [40].

#### II.12.4. Structure du charbon actif :

La structure du charbon actif est semblable à celle du graphite. En effet la structure cristalline de ce dernier consiste en un ensemble de couches planes d'atomes de carbone, ordonnés en hexagone réguliers, comparables aux cycles aromatiques. L'analyse de diffraction aux rayons X, révèle que sa structure est graphitique, mais avec quelques différences, notamment par la disposition de ces couches planes d'atomes de carbone en un agencement désordonné et par la formation de groupements fonctionnels, dus à la présence d'hétéroatomes (oxygène, métaux, hydrogène...) dans le réseau cristallin. Ces modifications de structure pourront engendrer des interactions spécifiques (groupements fonctionnels) et des interactions non spécifiques (hétérogénéité du réseau) pour cet adsorbant.



**Figure II.4 :** Structure cristalline : (a) graphite ; (b) charbon actif [41].

### **II.12.5. Types de charbon actif :**

#### **II.12.5.1. Charbon actif en poudre (CAP) :**

Les charbons actifs en poudre présentent une granulométrie inférieure à 100  $\mu\text{m}$  avec un diamètre moyen situé entre 15 et 25  $\mu\text{m}$ . Par exemple, la norme ASTM D5158 classe les particules de diamètre inférieur ou égal à 0,177 mm comme CAP. Ils ont une large surface externe et une faible profondeur de diffusion : la vitesse d'adsorption est très rapide. De tels charbons sont donc utilisés préférentiellement pour l'adsorption de solutions en mode batch. Les poudres fines sont utilisées en pharmacie et servent aussi à décolorer les huiles, les graisses, les vins, les sucres et de nombreux autres liquides organiques [42].

#### **II.12.5.2. Utilisation du charbon actif en poudre :**

- Le charbon actif en poudre est utilisé en combinaison avec un traitement de clarification ;
- Le charbon actif en poudre est ajouté continuellement avec l'eau à traiter avec des agents floculant. Il est recommandé d'utiliser des clarificateurs pour augmenter le temps de contact entre le charbon et l'eau ;
- La dose d'ozone nécessaire dans le cadre d'un inter oxydation est alors réduite ;
- La principale conséquence est que le nombre de sous-produits d'ozonation diminue [42].

#### **II.12.6. Charbon actif granulé (CAG) :**

Le CAG peut être soit en forme granulée soit extrudée il est représenté par des tailles telles que 8x20, 20x40, ou 8x30 pour des applications en phase liquide et par 4x6, 4x8 ou 4x10 pour des applications en phase vapeur [20]. Par exemple, un charbon 20x40 est formé de particules traversant une maille standard américaine N° 20 (0.84 mm) mais retenues par une maille N° 40 (0.42 mm). La taille 8x30 est la plus utilisée pour de nombreuses applications. La taille 8x30 est la plus utilisée pour de nombreuses applications [43].

#### **II.12.6.1. Utilisation du charbon actif granulé :**

Le charbon actif granulé est utilisé dans des différents types de traitements des eaux pour la réduction des oxydants chlorés résiduels et une très faible élimination de certains sous-produits de désinfection tels que les bromates et les chlorates, et aussi utilisé pour enlever la turbidité et pour dissoudre des composés organiques, l'odeur, les taches, les colorants. Le

traitement au charbon actif granulé est reconnu comme étant le procédé le plus efficace contre les goûts et les odeurs. Ce composé de faible poids moléculaire favorise une durée de vie prolongée. Il est utilisé pour l'élimination des micropolluants organiques et de la matière organique sous forme de carbone dissous [43].

### **II.12.7. Préparation du charbon actif :**

#### **II.12.7.1. Choix du matériau d'origine :**

Tout matériau peu coûteux, contenant un fort pourcentage de carbone et un faible pourcentage en matière inorganique, peut servir à fabriquer des charbons actifs. Ils sont généralement obtenus à partir de bois, charbon, noix de coco, lignite, tourbe...etc. La valorisation de différents déchets, tels que ceux issus de l'industrie du pétrole et des huiles lubrifiantes, connaît actuellement un essor important. Nous pouvons aussi citer comme autres exemples l'utilisation de résidus de la fabrication du café, (2004), ou de la pyrolyse de boues activées, Rio et al, (2005). L'utilisation de sous produits industriels s'inscrit dans une démarche de développement durable et de valorisation des déchets, Colin-Cruz et al, (2003) [44].

#### **II.12.7.2. Carbonisation :**

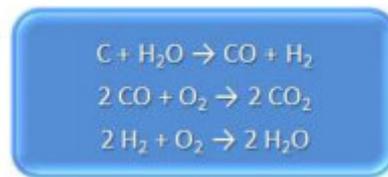
La carbonisation est la décomposition thermique des matières carbonées : les espèces autres que le carbone sont éliminées. Cette étape de carbonisation s'effectue à des températures inférieures à 800°C (en présence de sels métalliques) et sous un courant continu d'un gaz inerte (absence d'oxygène). La carbonisation est généralement effectuée à une vitesse suffisamment grande pour minimiser le contact entre les produits carbonisés et les produits volatils. Une simple carbonisation n'aboutit pas à des produits ayant une forte capacité d'adsorption car elle donne des produits ayant une structure poreuse limitée (surface spécifique d'environ 10 m<sup>2</sup>.g<sup>-1</sup>). La structure poreuse est étendue durant le processus d'activation [44].

#### **II.12.7.3. L'Activation :**

Consiste à augmenter le pouvoir adsorbant, notamment en éliminant les goudrons qui obstruent les pores et ce selon deux procédés distincts :

### II.12.7.3.1. L'activation physique :

L'activation physique consiste en une oxydation du charbon à haute température (800 à 1000°C) à l'aide d'un agent faiblement oxydant pendant 24 à 72 heures. Les réactifs gazeux principalement utilisés sont l'air, la vapeur d'eau ainsi que le dioxyde de carbone. Tous ces gaz peuvent être employés seuls ou en mélange. Dans ce processus, les matières désorganisées carbonées obstruant les pores sont éliminées par la réaction suivante :



**Figure II.5 :** Réactions types rencontrées lors l'activation physique.

Le contrôle de la température est un paramètre important car au dessus de 1000°C, la réaction engendre une dégradation du matériau. En revanche, en dessous de 800°C la réaction est trop lente ou incomplète et donc économiquement inintéressante. Généralement, les charbons actifs produits par cette activation physique présentent une structure poreuse fine (pores étroits) [45].

### II.12.7.3.2. L'activation chimique :

Contrairement à l'activation physique, l'activation chimique est classiquement réalisée simultanément avec l'étape de carbonisation en présence de catalyseurs d'oxydation tels que l'acide phosphorique, l'acide sulfurique, le sulfure de potassium, le chlorure de zinc, des sels de cuivre ou la potasse<sup>20</sup>. Le matériau brut est imprégné d'un de ces agents chimiques puis chauffé sous atmosphère inerte entre 400°C et 600°C. La réorganisation structurale permet de développer une microporosité et une mésoporosité par élargissement du diamètre des pores. Les revues portant sur cette voie d'activation montrent que la taille des pores dans le charbon actif final est déterminée par le degré d'imprégnation : plus celui-ci est élevé, plus le diamètre des pores est grand. De plus, ces charbons actifs présentent une structure poreuse ouverte (les pores débouchent à la surface du grain), idéale pour l'adsorption de grosses molécules. Néanmoins, les charbons activés chimiquement gardent généralement des traces de l'agent responsable de l'oxydation de surface (phosphore, soufre, zinc, cuivre, potassium) [45].

#### II.12.7.4. Traitements supplémentaires :

La phase d'activation peut éventuellement être suivie d'une troisième phase consistant à modifier la surface du charbon via des réactions acido-basiques. Il s'agit le plus souvent de créer des sites acides ou basiques supplémentaires pour favoriser des interactions électrostatiques ou des liaisons hydrogène avec l'adsorbat. Néanmoins, la fonctionnalisation de surface peut aussi être réalisée avant le processus de carbonisation par modification chimique de la matière première. En effet, Burg et coll. ont déjà montré que des traitements à l'urée ou des processus de déminéralisation puis d'ammonoxidation<sup>33</sup> (oxydation par l'air en présence d'ammoniac) de lignites entraînaient un enrichissement du charbon actif final en fonctions basiques azotées. Ces auteurs ont montré que ces modifications de surface induisaient des changements des propriétés d'adsorption des charbons actifs. Ce comportement a été attribué, par exemple, à une augmentation de la basicité de surface qui a induit une meilleure affinité pour les composés faiblement acides comme le dichlorométhane.

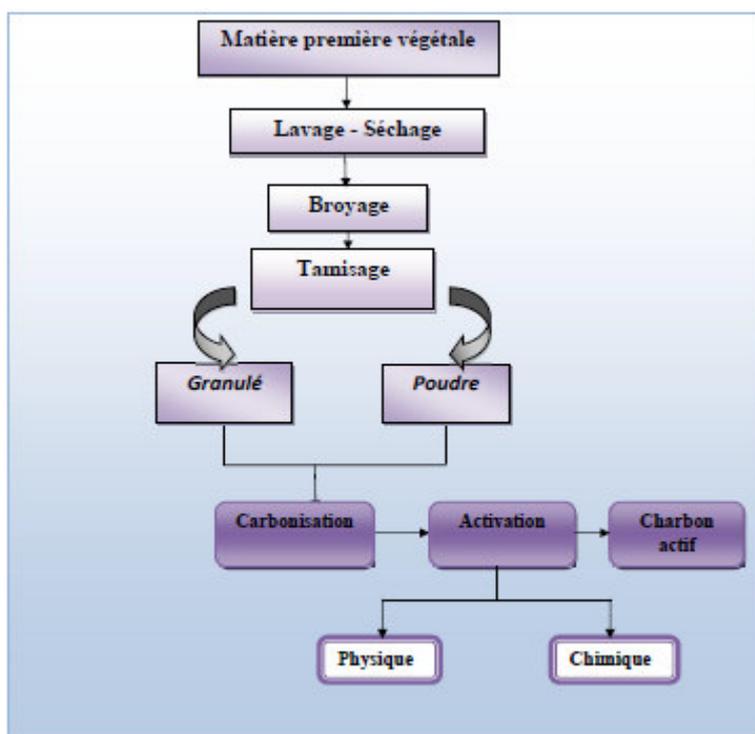
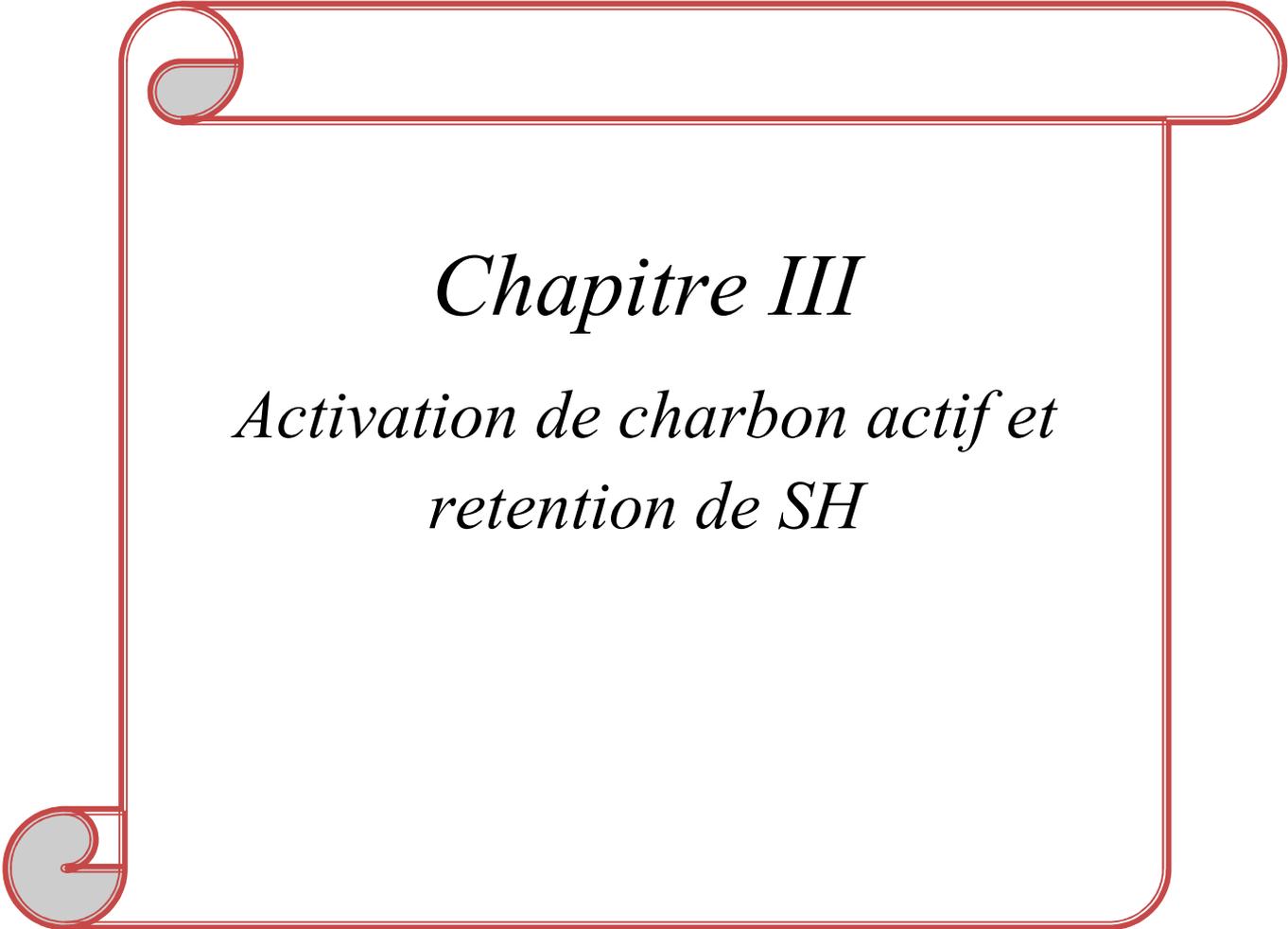
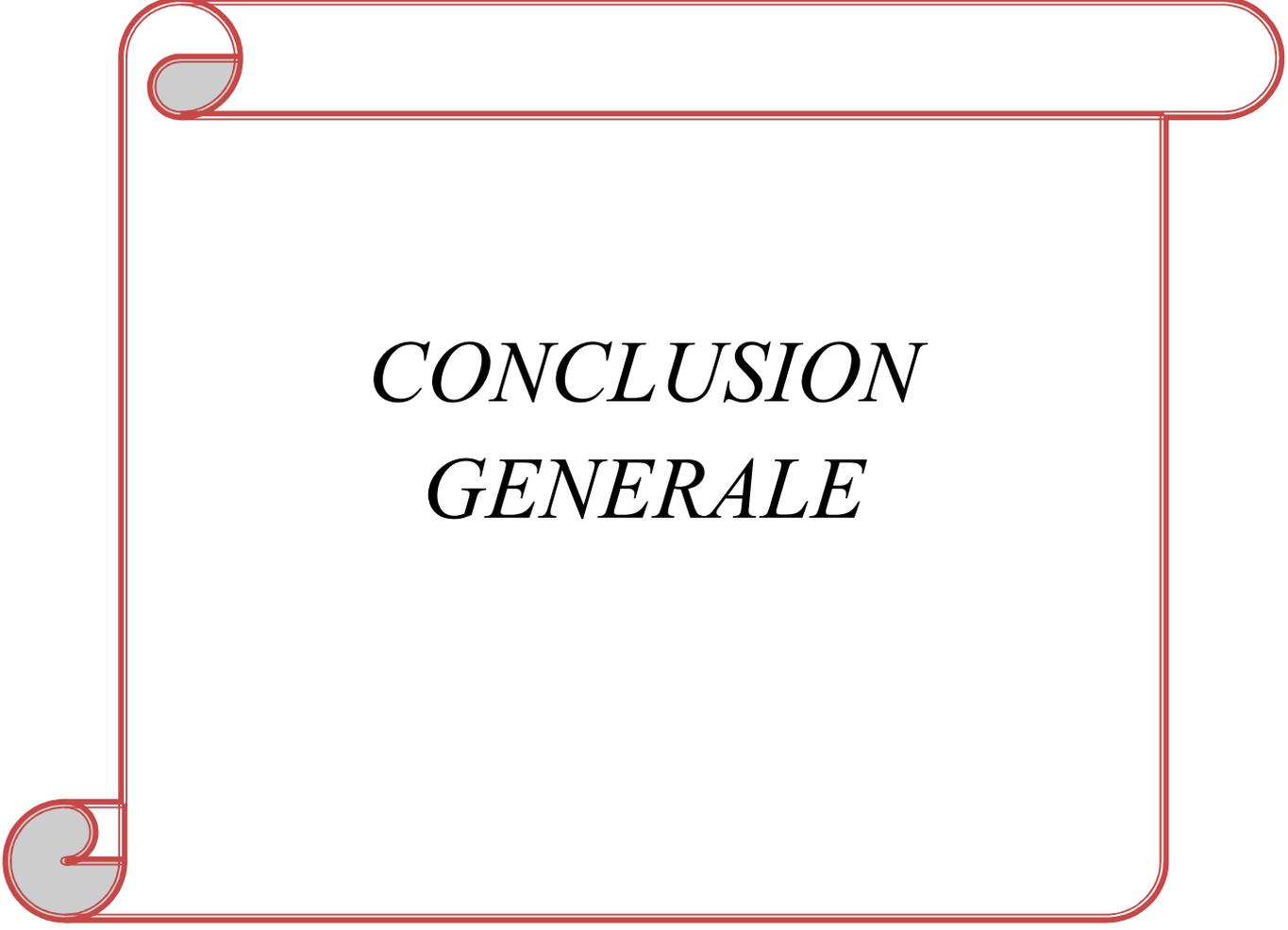


Figure II.6 : Schéma général de fabrication des charbons actifs [46].



# *Chapitre III*

*Activation de charbon actif et  
retention de SH*



*CONCLUSION  
GENERALE*

## Résumé

La pollution des eaux par des micropolluants, nécessite le recours à des procédés très performants tel que l'adsorption. L'objectif de ce travail est d'étudier les capacités de différents adsorbants pour la rétention des substances humiques. Notre choix s'est porté sur l'adsorbant : un charbon actif préparé à partir des coques des noix.

Les différentes méthodes utilisées sont : broyage, tamisage, l'activation chimique par l'Hydroxyde de sodium. Nous nous sommes intéressés par ailleurs à l'étude de l'effet de volume d'activant chimique sur élimination de SH, les résultats montrent que le volume optimal est 30ml pour une réduction maximale égale 47 %.

Pour l'adsorbant des paramètres expérimentaux ont été étudiés: Masse d'adsorbant, temps de contact, vitesse d'agitation, température et le pH. Les résultats expérimentaux ont montré que l'adsorption du SH est meilleure sur le charbon actif.

**Mots clés:** L'adsorption, Les adsorbants, coques de noix, Substances humiques.

## ملخص

تلوث المياه بواسطة الملوثات الصغيرة، يتطلب استخدام عمليات عالية الأداء مثل الامتزاز. والهدف من هذا العمل هو دراسة قدرة الممتزات المختلفة لإزالة المواد الدبالية. ويشمل خيارنا ممتز : الكربون المنشط المصنوع من حبات الجوز. تمت دراسة العوامل التجريبية للممتز : كتلة مكثف، وقت الاتصال، سرعة التحريك، درجة الحرارة، درجة الحموضة. وأظهرت النتائج التجريبية أن امتصاص المواد الدبالية أفضل على الكربون الذي أعد من حبات الجوز.

الطرق المختلفة المستخدمة هي: الطحن، الغريلة، والتفعيل كيميائياً بهيدروكسيد الصوديوم واهتمنا أيضاً في دراسة تأثير حجم التفعيل في القضاء على المواد الدبالية، وأظهرت النتائج أن الانتاج الأمثل 30ml لأقصى قدر 47%.

وعلاوة على ذلك يقوم العمل المقدم على الامتزاز بواسطة الكربون المنشط المستمدة من الكتلة الحيوية lignocellulosic، حبات الجوز، المتوفرة في بلادنا غالباً ما تقتصر على الاستهلاك الغذائي. وترتكز هذه الدراسة على إنتاج ومقارنة سعة امتصاص الكربون المنشط، الذي أعد من حبات الجوز.

**كلمات البحث:** الامتزاز، الممتزات، لب الجوز، المواد الدبالية.

## Conclusion générale

---

### *Conclusion et perspectives*

Les eaux de surface contiennent des matières organiques et minérales provenant soit de la vie végétale et animale, soit de la chimie de synthèse organique ou minérale. Dans le domaine des matières organiques naturelles, les substances humiques, composées principalement d'acides humiques, occupent une très grande part. Elles sont responsables de la coloration de l'eau, possèdent des propriétés d'échangeurs d'ions et des propriétés de complexation. Elles peuvent être un véhicule pour la plupart des substances toxiques (métaux lourds, pesticides...), participent également à la corrosion du système de distribution et au colmatage des résines et des membranes. Ces substances peuvent générer une toxicité chronique (effet mutagènes et cancérogènes), et s'ils sont formes, ils sont difficilement éliminables.

Les procédés utilisant l'adsorption constituent alors souvent une technique de choix, complémentaire à la filière de base, parce que l'adsorption s'avère efficace dans la rétention et l'élimination des composés organiques et minéraux solubles d'une eau sans être modifiés.

- L'objectif est d'étudier la capacité à éliminer les substances humiques par le procédé de l'adsorption par un charbon à base de coques de noix en fonction de plusieurs paramètres et avec une activation chimique par l'hydroxyde de sodium (NaOH).

A travers tous les résultats obtenus, nous pouvons tirer les conclusions suivantes :

- Les valeurs optimales pour les paramètres réactionnelles sont: le temps de contact =45 min , la vitesse d'agitation =300 tr/min, la masse d'adsorbant =60mg, la température 30 °C , le pH =2 sur l'adsorption SH ont été étudiés.

En perspective les travaux de notre mémoire pourraient être poursuivis en étudiant les points suivants :

- Les coques de noix forment un résidu naturel non coûteux représentant aujourd'hui un avantage majeur pour le traitement des eaux usées. En effet, il est possible de les utiliser comme des adsorbants moins onéreux et très efficaces pour l'élimination de différents polluants notamment les métaux lourds : Zinc, Plomb, Argent, Cadmium, etc., ou les colorants ainsi que pour d'autre domaine. Après leur activation dans des conditions optimales bien définies.

## Conclusion générale

---